IAEA BULLETIN

مجلة الوكالة الدولية للطاقة الذرّية

منشور الوكالة الرئيسي | نيسان/أبريل ٢٠١٩

للاطّلاع على النسخة الإلكترونية
www.iaea.org/bulletin

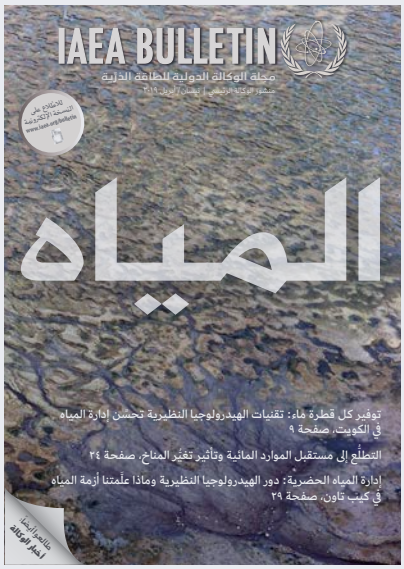
المياه

توفير كل قطرة ماء: تقنيات الهيدرولوجيا النظيرية تحسِّن إدارة المياه في الكويت، صفحة ٩

التطلُّع إلى مستقبل الموارد المائية وتأثير تغيُّر المناخ، صفحة ٢٤

إدارة المياه الحضرية: دور الهيدرولوجيا النظيرية وماذا علَّمتنا أزمة المياه في كيب تاون، صفحة ٢٩

طالعوا أيضاً: أخبار الوكالة



مجلة الوكالة الدولية للطاقة الذرّية

يصدرها مكتب الإعلام العام والاتصالات
الوكالة الدولية للطاقة الذرّية
مركز فيينا الدولي

العنوان :
International Atomic Energy Agency
Vienna International Centre
PO Box 100, 1400 Vienna, Austria
الهاتف : ٠-٢٦٠٠ (١-٤٣)
البريد الإلكتروني : iaeabulletin@iaea.org

مديرة التحرير: لورا غيل
المحرِّر: ميكلوس غاسبر
المحرِّرة المساهمة: نيكول جاويرث
التصميم والإنتاج: ريتو كين

مجلة الوكالة متاحة على الموقع التالي:
www.iaea.org/bulletin

يمكن استخدام مقتطفات من مواد الوكالة التي تتضمَّنها مجلة الوكالة في مواضع أخرى بِحُرِّية، شريطة الإشارة إلى مصدرها. وإذا كان مبيَّناً أنَّ الكاتب من غير موظفي الوكالة، فيجب الحصول منه أو من المنظمة المصدِرة على إذن بإعادة النشر، ما لم يكن ذلك لأغراض العرض.

ووجهات النظر المعرَب عنها في أيِّ مقالة موقَّعة واردة في مجلة الوكالة لا تُمثِّل بالضرورة وجهة نظر الوكالة الدولية للطاقة الذرِّية، ولا تتحمَّل الوكالة أيَّ مسؤولية عنها.

صورة الغلاف:
الخط الساحلي خلال الجَزْر، الخليج العربي، الكويت
(الصورة: د. كالما/الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

تابعونا على

IAEA

تكمن مهمة الوكالة الدولية للطاقة الذرِّية في منع انتشار الأسلحة النووية ومساعدة كلِّ البلدان، لا سيَّما في العالم النامي، على الاستفادة من استخدام العلوم والتكنولوجيا النووية استخداماً سلميًّا ومأموناً وآمناً.

وقد تأسَّست الوكالةُ بصفتها منظمةً مستقلَّةً في إطار الأمم المتحدة في عام ١٩٥٧، وهي المنظمة الوحيدة ضمن منظومة الأمم المتحدة التي تملك الخبرة في مجال التكنولوجيات النووية. وتساعد مختبراتُ الوكالة المتخصِّصة الفريدة من نوعها على نقل المعارف والخبرات إلى الدول الأعضاء في الوكالة في مجالات مثل الصحة البشرية والأغذية والمياه والصناعة والبيئة.

وتقوم الوكالةُ كذلك بدور المنصَّة العالمية لتعزيز الأمن النووي. وقد أسَّست الوكالةُ سلسلةَ الأمن النووي الخاصة بالمنشورات الإرشادية المتوافق عليها دوليًّا بشأن الأمن النووي. كما تركِّز أنشطةُ الوكالة على تقديم المساعدة للتقليل إلى الحدِّ الأدنى من مخاطر وقوع المواد النووية وغيرها من المواد المشعَّة في أيدي الإرهابيين والمجرمين، أو خطر تعرُّض المرافق النووية لأعمال كيدية.

وتوفِّر معاييرُ الأمان الصادرة عن الوكالة نظاماً لمبادئ الأمان الأساسية، وتجسِّد توافقاً دوليًّا في الآراء حول ما يشكِّل مستوى عالياً من الأمان لحماية الناس والبيئة من التأثيرات الضارَّة للإشعاعات المؤيِّنة. وقد وُضِعت معاييرُ الأمان الخاصة بالوكالة لتطبيقها في جميع أنواع المرافق والأنشطة النووية التي تُستخدَم للأغراض السلمية، وكذلك لتطبيقها في الإجراءات الوقائية الرامية إلى تقليص المخاطر الإشعاعية القائمة.

وتتحقَّق الوكالةُ أيضاً، من خلال نظامها التفتيشي، من امتثال الدول الأعضاء للالتزامات التي قطعتها على نفسها بموجب معاهدة عدم انتشار الأسلحة النووية وغيرها من اتفاقات عدم الانتشار، والمتمثِّلة في عدم استخدام المواد والمرافق النووية إلاَّ للأغراض السلمية.

ولعمل الوكالة جوانب متعدِّدة، وتشارك فيه طائفة واسعة ومتنوِّعة من الشركاء على الصعيد الوطني والإقليمي والدولي. وتُحدَّد برامجُ الوكالة وميزانياتها من خلال مقرَّرات جهازَيْ تقرير سياسات الوكالة — أيْ مجلس المحافظين المؤلَّف من ٣٥ عضواً والمؤتمر العام الذي يضمُّ جميع الدول الأعضاء.

ويوجد المقرُّ الرئيسي للوكالة في مركز فيينا الدولي. كما توجد مكاتب ميدانية ومكاتب اتصال في جنيف ونيويورك وطوكيو وتورونتو. وتدير الوكالةُ مختبراتٍ علميةً في كلٍّ من موناكو وزايبرسدورف وفيينا. وعلاوةً على ذلك، تدعم الوكالةُ مركز عبد السلام الدولي للفيزياء النظرية في تريستي بإيطاليا وتوفِّر له التمويلَ اللازم.

فهم الموارد المائية في العالم

بقلم يوكيا أمانو، المدير العام، الوكالة الدولية للطاقة الذرِّية

الماء موردٌ ثمين تعتمد عليه الحياة على الأرض. ومع ذلك، من اللافت أننا لا نعرف إلا القليل عن مقدار ما لدينا من المياه، وموقعها الدقيق، وحتى متى ستدوم إمداداتها. ونسبة ٩٨٪ من جميع المياه العذبة في كوكب الأرض مخبَّأة تحت الأرض. ويجب علينا دراسة مياهنا الجوفية بتعمُّق لحمايتها من التهديدات مثل الاستخراج المفرط والتلوُّث ولإدارتها على نحو مستدام من أجل أجيال المستقبل.

وتدعم الوكالة الخبراء الوطنيين في هذا المسعى من خلال الترويج لاستخدام التقنيات النظيرية ونقل الدراية العلمية. وتساعد البيانات المجمَّعة بالاستعانة بهذه التقنيات على تحسين سياسات إدارة المياه.

ودعمُ الدول الأعضاء في إدارة وحماية إمداداتها المائية هو جزءٌ من ولايتنا المتمثِّلة في تسخير الذرة من أجل السلام والتنمية. ونحن نشجّع البلدان على تحقيق الاستفادة الكاملة من التقنيات النووية من أجل تحسين جميع جوانب حياة شعوبها والاعتناء بالبيئة. ويمثِّل صَوْن الموارد المائية عنصراً حيويًّا في هذا الصدد.

وتتناول هذه الطبعة من مجلة الوكالة استخدام التقنيات النووية في مجال الهيدرولوجيا النظيرية وما تقوم به الوكالة من عمل لإتاحة هذه التقنيات لدولنا الأعضاء. وتقدّم هذه الطبعة لمحة عامة عن العلوم (الصفحة ٤) وتعرض البلدان التي تُحْدث فيها جهودنا المشتركة فَرْقاً. وعلى سبيل المثال، في الصفحة ٦، نصفُ كيف يعكف أخصائيو الهيدرولوجيا النظيرية الأرجنتينيين على جمع البيانات لواضعي السياسات لتصميم نماذج محسّنة لإدارة المياه في جميع أنحاء البلاد.

وتبرز السلطات في الكويت خُططها لتحقيق استخدام أكثر استدامةً للمياه بدعم من الوكالة (الصفحة ٩)، بينما يشرح الباحثون في الفلبين كيف أكدوا أن المياه الجوفية في شمال بلدهم آمنة للشرب (الصفحة ١٢). وفي الصفحة ١٤، نتتبَّع أصل المياه الملوَّثة في موريشيوس، فيما نكشف في الصفحة ١٦ عن المسطحات المائية الغنية المختبئة تحت الأرض في المنطقة شبه القاحلة من منطقة الساحل.

وتتضمَّن هذه الطبعة من مجلة الوكالة أيضاً قسماً عن التكنولوجيا، يعرض طرائق في الهيدرولوجيا النظيرية طوَّرتها الوكالة للدول الأعضاء. وتشمل تلك الطرائق تقنية تحديد الأعمار بواسطة التريتيوم/الهليوم-٣ (الصفحة ٢٠) المستخدَمة لتحديد العمر الدقيق للمياه الصغيرة العمر، ونموذج توازن المياه المدعوم بالنظائر (الصفحة ٢٤)، الذي يمكن أن يساعد العلماء على التنبؤ بآثار تغيُّر المناخ في الموارد المائية.

ويمكنكم معرفة دور الهيدرولوجيا النظيرية في حماية البيئة أثناء التشقق الهيدروليكي (الصفحة ٢٢)، وكيف تختبر الوكالة قدرة المختبرات في أنحاء العالم على تحليل المياه (الصفحة ٢٦)، في حين تعرّف الصفحة ١٨ بالشبكة العالمية لرصد النظائر التي طوّرتها الوكالة بالتعاون مع المنظمة العالمية للأرصاد الجوية.

والندوة الدولية بشأن الهيدرولوجيا النظيرية لهذا العام هي الخامسة عشرة من نوعها. وهي تجمع بين كبار المهنيين المتخصصين في مجال المياه والبيئة من جميع أنحاء العالم لتعزيز فهم الفوائد الهائلة للهيدرولوجيا النظيرية في مساعدة العالم على الاستجابة لبيئتنا العالمية المتغيِّرة بالسرعة اللازمة.

وآملُ أن تعطيكم هذه الطبعة من مجلة الوكالة رؤية متعمِّقة عن التطبيق الواسع الآفاق والمذهل للتكنولوجيا النووية.

”دعمُ الدول الأعضاء في إدارة وحماية إمداداتها المائية هو جزء من ولايتنا المتمثلة في تسخير الذرة من أجل السلام والتنمية.“

— يوكيا أمانو،
المدير العام للوكالة الدولية
للطاقة الذرِّية

(الصورة من: لويز بوترتون/الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

(الصورة من: الأكاديمية التقنية العليا الساحلية/EPSOL/ إكوادور)

(الصورة من: لورا غيل/الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

تصدير

١ فهم الموارد المائية في العالم

٤ الهيدرولوجيا النظيرية: لمحة عامة

أخبار مؤثرة

٦ الأرجنتين تطبِّق التقنيات النظيرية على المياه

٩ توفير كل قطرة ماء: تقنيات الهيدرولوجيا النظيرية تحسِّن إدارة المياه في الكويت

١٢ دراسة تجد أن المياه في مدينة فلبينية آمنة للشرب

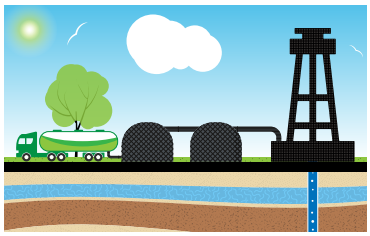
١٤ النظائر تساعد على اقتفاء أصل تلوُّث المياه الحضرية في موريشيوس

١٦ استخدام التقنيات النظيرية لرسم خريطة موارد المياه الجوفية وتحليلها في منطقة الساحل

التكنولوجيا

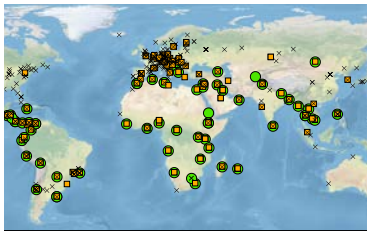
١٨ الشبكة العالمية لاستخدام النظائر في دراسة الأمطار

٢٠ إدارة ميزانية المياه لديك بمساعدة تقنية التريتيوم/الهليوم-٣



٢٢ التشقق الهيدروليكي: كيفية دعم الهيدرولوجيا النظيرية للتقييمات البيئية من أجل حماية المياه الجوفية

٢٤ التطلُّع إلى مستقبل الموارد المائية وتأثير تغيُّر المناخ



٢٦ تحقيق المستوى الجيد
اختبار الوكالة لمدى جودة تحليل المختبرات للمياه

رؤية عالمية

٢٩ إدارة المياه الحضرية: دور الهيدرولوجيا النظيرية وماذا علّمتنا أزمة المياه في كيب تاون
— بقلم جودي ميلر

٣١ خرائط النظائر لتلوُّث المياه الجوفية وتجدُّدها
— بقلم جويل بودغورسكي، ومايكل بيرغ، ورولف كيبفر

تحديثات الوكالة

٣٣ أداة جديدة في مجال الضمانات تعزز عمليات الوكالة للتحقق من الوقود النووي المستهلَك

٣٣ كيفية تحديد المواقع وتقييمها لإنشاء محطات القوى النووية محور حلقة عمل نظمتها الوكالة في أوزبكستان

٣٤ كيف تساعد التقنيات النووية على إطعام شعب الصين

الهيدرولوجيا النظيرية: لمحة عامة

بقلم لوشيا أورتيغا ولورا غيل

تمكّن التقنيات النظيرية العلماء من فهم مكوّنات دورة المياه، مما يساعدهم على تقييم كمية ونوعية واستدامة المياه بشكل أفضل.

وضمن الدورة المائية، تمثّل المياه الجوفية أقلّ مكوّن نفهمه. ويستخدم العلماء النظائر الطبيعية المنشأ كمقتفياتٍ لمعرفة فيما إذا كانت المياه الجوفية تتجدّد، وما مصدرها، وكيفية جريانها تحت الأرض، وفيما إذا كانت عُرضة للتلوث والظروف المناخية المتغيرة.

وللمياه الآتية من أماكن مختلفة "بصمات" نظيرية مختلفة أو بصمات فريدة. ويستخدم العلماء تلك "البصمات" لتتبُّع حركة المياه على امتداد مسارها وطوال الدورة المائية بأكملها: من التبخر، وهطول الأمطار، والتسرُّب، إلى جريان المياه وتبخرها النتحي، ثم العودة إلى المحيط أو الغلاف الجوي، وتكرار ذلك.

ولكن ما هي النظائر؟

يتألف العنصر الكيميائي، مثل الهيدروجين، في أكمله من نوع واحد من الذرات. وأما نوع الذرة فيأتي في أشكال مختلفة. وهذه الأشكال هي النظائر، وجميعها لها نفس الخصائص الكيميائية وعدد البروتونات والإلكترونات، ولكن تختلف في عدد النيوترونات. والفرق في عدد النيوترونات يجعل كلّ نظير يَزن بشكل مختلف، وهذا الاختلاف في الوزن هو مفتاح الدراسات الهيدرولوجية.

وتستخدم الهيدرولوجيا النظيرية النظائر المستقرة وغير المستقرة على السواء. والنظائر المستقرة غير مشعّة، بمعنى أنه لا تنبعث منها إشعاعات. وأما النظائر غير المستقرة (أو النظائر المشعّة) فتخضع للاضمحلال الإشعاعي وبالتالي هي مشعّة.

ونقدّم الآن لمحة عامة مبسّطة عن كيفية عمل علم الهيدرولوجيا النظيرية.

منشأ وانتقال المياه في الدورة المائية

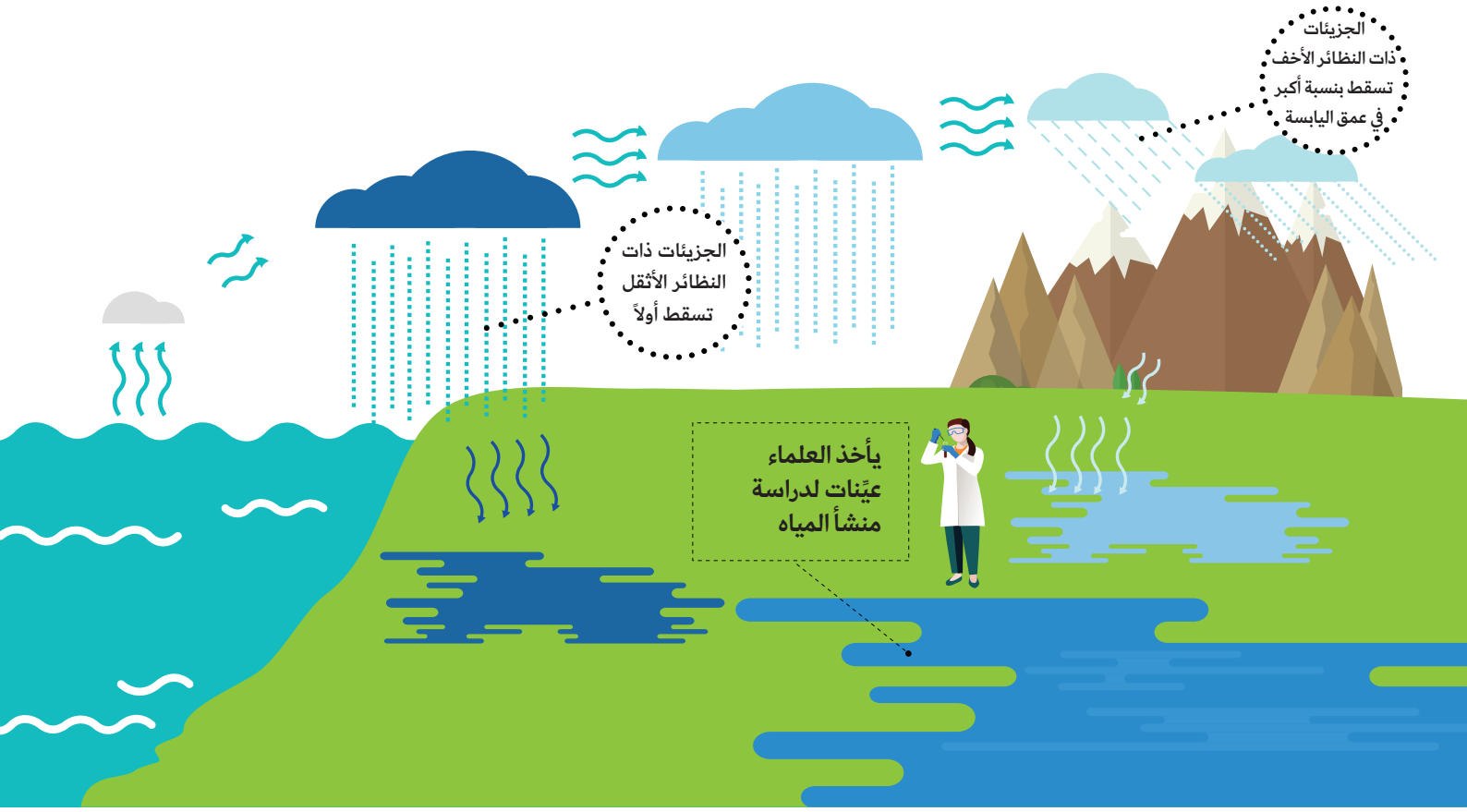
يتكون كلّ جزيء من الماء (H_2O) من ذرتين من الهيدروجين (H) وذرة واحدة من الأكسجين (O)، لكن هذه ليست جميعها متساوية: فبعض نظائر الذرات أخفّ وزناً وبعضها أثقل وزناً. ويستخدم العلماء أجهزة تحليلية دقيقة لقياس اختلافات الوزن الضئيلة في عينات المياه. فلماذا؟

عندما تتبخر المياه من البحر، تميل الجزيئات ذات النظائر الأخفّ إلى الصعود بصورة أكبر من الجزيئات ذات النظائر الأثقل، لتتشكّل سُحب ذات بصمات نظيرية محدّدة. وتحتوي هذه السّحب على مزيج من جزيئات الماء التي تسقط على شكل مطر. وتسقط جزيئات الماء ذات النظائر الأثقل وزناً أولاً. ثم، عندما تفقد السّحب هذه النظائر الثقيلة وتتحرك نحو اليابسة، تتساقط النظائر الأخف وزناً بنسبة أكبر.

وحينما ينزل المطر على الأرض، فإنَّه يملأ البحيرات والأنهار ومستودعات المياه الجوفية. ومن خلال قياس النسبة بين النظائر الثقيلة والخفيفة في هذه المسطحات المائية، يمكن للعلماء فهم أصل المياه وحركتها.

عمر المياه الجوفية

تمثّل النظائرُ الأدوات الأكثر مباشرةً والأكثر فعاليةً المتاحة لدينا لتقدير عمر موارد المياه ومواطن ضعفها ومدى استدامتها. وعندما تكون المياه الجوفية في أحد مستودعات المياه الجوفية "قديمة"، فهذا يعني أن تدفُّق المياه يكون بطيئاً وأن مستودع المياه الجوفية قد يستغرق وقتاً طويلاً لتتجدّد مياهه. وعلى العكس من ذلك، فإن المياه الجوفية الصغيرة العمر تتجدّد بسهولة وبسرعة عن طريق مياه الأمطار، ولكن يمكن أن تتأثر بسهولة أيضاً بالتلوُّث وتغيُّر الظروف المناخية. وفهم عمر المياه يعطي العلماء والحكومات فكرة جيدة عن مدى سرعة تجدُّد مياه مستودعات المياه الجوفية.



وفي الهيدرولوجيا، تُستخدم بعض النظائر المشعّة الطبيعية المنشأ الموجودة في الماء، مثل التريتيوم (^{3}H) والكربون-١٤ (^{14}C) والنظائر المشعة للغازات الخاملة، لتقدير عمر المياه الجوفية. ويمكن أن يتراوح عمرها من بضعة أشهر إلى مليون سنة.

ولأن هذه النظائر تضمحل على مرّ الزمن، فإن توافرها يتضاءل مع مرور السنين. والقيم الأعلى تعني أن المياه "أصغر سنًّا" بينما القيم الأدنى تعني أن المياه "أكبر سنًّا". وعلى سبيل المثال، قد يكون عمر مياه جوفية بها كمية يمكن اكتشافها من التريتيوم ما يصل إلى نحو ٦٠ سنة، في حين لا بدّ أن تكون المياه الجوفية التي ليس بها أي كمية من التريتيوم أقدمَ عهداً. وبينما يُستخدم التريتيوم في تأريخ المياه الجوفية التي تجدَّدت مؤخراً، أي أقلّ من نحو ٦٠ عاماً، يستخدم الكربون-١٤ للمياه التي يصل عمرها إلى ٤٠ ٠٠٠ عاماً، والكريبتون-٨١ للمياه التي قد يصل عمرها إلى مليون عام (انظر الصفحة ٢١).

جودة المياه

تأتي الملوِّثات في المياه السطحية والمياه الجوفية من مصادر مختلفة، مثل الزراعة أو الصناعة أو الفضلات البشرية، أو قد تكون موجودة بصورة طبيعية بسبب العمليات الجيوكيميائية التي تحدث في مستودعات المياه الجوفية. وتنجم عن الزراعة والصناعة والأُسر أصناف مختلفة من الملوِّثات. ومن خلال دراسة التركيبة الكيميائية والنظيرية للملوِّث ما، يمكن للعلماء تحديد أصله.

وعلى سبيل المثال، يُعدُّ أيون النترات (NO_3^-)، الذي يتكون من النيتروجين والأكسجين، أحد الملوِّثات الشائعة. والنيتروجين له نظيران مستقران بوزنين مختلفين. وهذا الاختلاف في الوزن ليس هو نفسه في الفضلات البشرية والأسمدة. وتستخدم الأسمدة النيتروجين من الهواء، بينما يمرّ البشر والحيوانات بعملية بيولوجية تحوّل النيتروجين إلى أشكال مختلفة. ونتيجة لذلك، يمكن تحديد الملوِّثات المستمدة من مصادر مختلفة بناءً على اختلافات الأوزان النظيرية.

وتمثل معرفة أصول الملوِّثات أول خطوة في معالجة المشكلات المتعلقة بجودة المياه. وتُعدُّ البيانات التي يجمعها أخصائيو الهيدرولوجيا النظيرية مفيدة لواضعي السياسات في خططهم الاستراتيجية للموارد المائية وإدارتها.

وتدعم الوكالة العلماء من جميع أنحاء العالم من خلال الترويج لاستخدام التقنيات النظيرية، ونقل الدراية العلمية إلى المهنيين المحليين في مجال المياه. ولمعرفة المزيد عن كيفية قيامنا بذلك، الرجاء مواصلة القراءة.

الأرجنتين تطبِّق التقنيات النظيرية على المياه

بقلم لورا غيل

إنَّ المياه في الأرجنتين، مثل الكثير من الأماكن في العالم، عُرضة لخطر الاستغلال المفرط والتلوث. ومن أجل حمايتها، يعكف العلماء على دراسة تفاصيلها الأكثر خفيةً بالاستعانة بالتكنولوجيا النووية ودعم الوكالة.

وقال دانيال سيسرون، مدير البيئة في الهيئة الوطنية للطاقة الذرية بالأرجنتين: "إن الأرجنتين محظوظة لامتلاكها كمية جيدة من المياه لكل ساكن، بيدَ أن هذه المياه تُوزَّع توزيعاً يتَّسم إلى حد كبير بعدم التكافؤ بين أنحاء البلد. وفي بعض المناطق، فإنّ معرفة ما إن كانت المياه التي نستعملها يوميًّا تتجدّد بانتظام أم آخذة في النضوب أم أنها عُرضة لخطر التلوث قد تمثّل الفارق بين الفقر والرخاء".

ويُسمَّى العِلم وراء ذلك الهيدرولوجيا النظيرية، ويُعدُّ هذا التخصص، وفق دوغلاس كيب سولومون، أستاذ علم الجيولوجيا والجيوفيزياء في جامعة يوتاه بالولايات المتحدة "واحداً من أكثر الوسائل المتاحة قوة وجدارة بالثقة لتقييم المياه الجوفية تقييماً مستفيضاً."

"إن الأرجنتين محظوظة لامتلاكها كمية جيدة من المياه لكل ساكن، بيدَ أن هذه المياه تُوزَّع توزيعاً يتَّسم إلى حد كبير بعدم التكافؤ بين أنحاء البلد. وفي بعض المناطق، فإنّ معرفة ما إن كانت المياه التي نستعملها يوميًّا تتجدّد بانتظام أم آخذة في النضوب أم أنها عُرضة لخطر التلوث قد تمثّل الفارق بين الفقر والرخاء."

— دانيال سيسرون، مدير البيئة في الهيئة الوطنية للطاقة الذرية، الأرجنتين

وقال سولومون، الذي يساعد الخبراء الأرجنتينيين على رسم خرائط لمياه بلادهم بمساعدة الوكالة: "أغلب المياه العذبة القابلة للاستخدام في العالم موجودة في باطن الأرض، لكن أغلب المياه المتاحة لنا هي مياه سطحية." وأضاف قائلاً: "إنه لأمر بالغ الأهمية أن نفهم التفاعلات بين المياه السطحية والمياه الجوفية حتى نعرف كيف ندير هذه الموارد إدارة سليمة ونحميها."

مخزونات مخفيَّة

ومنذ مطلع ٢٠١٦، عكف أخصائيو الهيدرولوجيا النظيرية في الأرجنتين على جمع وتفسير البيانات من منطقتين استراتيجيتين بمساعدة الوكالة. والفكرة المرجوَّة أن يستخدم واضعو السياسات هذه المعلومات ويقوموا بتصميم نماذج محسّنة لإدارة المياه — نماذج هيدرولوجية — لهذه المناطق.

واختيرت المنطقتان لأسباب مختلفة. فأما الأولى فهي وادي مندوزا القاحل، غرب الأرجنتين، حيث يعتمد الناس على المياه الجوفية العذبة من مستودعات المياه الجوفية في أوسبالاتا وياغواراز، وغيرها من مستودعات المياه الجوفية الأصغر حجماً. والسلطات حريصة على معرفة ما إن كان يجري استخراج هذه المياه على نحو مستدام، وما إن كان لمستودعات المياه الجوفية القدرة الكافية على تحمُّل استخدام المياه بشكل أكبر.

وقال سرجيو سيروكي، الذي يعمل في متجر لمغامرات ركوب الزوارق والتجديف على قمة جبل في أوسبالاتا، "نحتاج المياه لكل شيء. المياه خبزنا اليومي. لكننا مدركون تمام الإدراك لحقيقة أن المياه مورد قابل للنضوب وعلينا أن نحافظ عليه. وكونه مورداً قابلاً للنضوب، علينا أن نستخدمه تقريباً استخدام الشيء المقدَّس."

مندوزا، منطقة في الأرجنتين حيث يستخدم العلماء الهيدرولوجيا النظيرية لدراسة المياه الجوفية.

(الصورة من: لورا غيل/الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

أخصائيو الهيدرولوجيا النظيرية يأخذون عينات للمياه من مندوزا بغرب الأرجنتين.

(الصورة من: لورا غيل/الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

وقد كان أخصائيو الهيدرولوجيا النظيرية الأرجنتينيون يتجوّلون عبر الجبال والسهول في مندوزا لأكثر من سنة، جامعين المياه من الآبار والبحيرات والأنهار ومصحوبين بخبراء دوليين من الوكالة. وعند العودة لمختبراتهم يقومون بتفسير النتائج لرسم صورة أكثر وضوحاً لما هو متوفّر.

وقالت ساندرا إيبانييز، الأخصائية في الهيدرولوجيا النظيرية بجامعة كويو في مندوزا، والتي تشارك في مشروع تعاون تقني للوكالة في البلد: "إننا نسعى للتحرّي على نحو دقيق عن كيفية تحرّك المياه داخل المستودعات الجوفية، وكيفية تفاعلها مع الأنهار، والقدر الذي يتبقّى منها."

وبناءً على مثل هذه البيانات، يكون واضعو السياسات في موضع أفضل لوضع القوانين الخاصة باستخدام المياه للشّرب والزراعة والصناعة. وعلى سبيل المثال، قد تؤدي معرفة أن المياه السطحية تتسرّب إلى المياه الجوفية إلى قوانين أكثر صرامة بشأن المستويات المقبولة للتلوث.

وقال خوان أندريس بينا، نائب مدير شعبة المياه الجوفية في الإدارة العامة للريّ بمندوزا، "متى ما تحصّلنا على النتائج، يمكننا أن نقرّر أية أنشطة أعمال ستستحدث في مندوزا."

وأما المنطقة الثانية التي تجري دراستها فهي مجرى نهري في لوس جيغانتس بكوردوبا، وهي عبارة عن مجمع تعديني قديم يبعُد حوالي ٧٠٠ كم غربي بيونس أيرس. وهذا الموقع قيد الاستصلاح البيئي، ويعمل أخصائيو الهيدرولوجيا النظيرية للتحرّي أكثر عن جودة المياه الجوفية وقابلية تعرّضها للتلوث.

وفي إطار مشروع للوكالة، رصدَ العلماء سلامة وجودة المياه التي تجدّد خزان بحيرة سان روك، وهي أحد مصادر استهلاك السكان في مدينة كوردوبا.

وقال دانيال مارتينيز، الجيولوجي والباحث في المجلس الوطني للبحوث العلمية والتكنولوجية (CONICET)، "إن هذه الدراسة المتعددة الاختصاصات و المشتركة بين المؤسسات ستساعد السلطات على تحسين النموذج المفاهيمي والفهم الهيدرولوجي للمنطقة وتعزيز استصلاح هذا الموقع."

وقال راوول راميريز غارسيا، رئيس قسم في إدارة التعاون التقني بالوكالة، إن مشاريع الوكالة للتعاون التقني كانت أساسية في نقل المعلومات والتكنولوجيا إلى المؤسسات الوطنية والمحلية.

وقال راميريز غارسيا: "ستساعد المعلومات الجديدة التي تتيحها التقنيات النظيرية على رصد مصادر المياه وستدعم هذا النوع من اتخاذ القرار الذي سيؤدي إلى منافع اجتماعية واقتصادية للسكان في هذه المناطق."

توفير كل قطرة ماء: تقنيات الهيدرولوجيا النظيرية تحسِّن إدارة المياه في الكويت

بقلم آبها ديكسيت

تركِّز البلدان القاحلة، مثل الكويت، أكثر فأكثر على التقنيات التي تستخدم النظائر المستقرة لتقييم مواردها من المياه الجوفية والتصدّي لتحدٍّ يتمثّل في إدارتها على نحو مستدام لتلبية طلبات الأعداد المتزايدة من سكانها.

وقال سعيد محمد الراشد، المدير التنفيذي لمركز أبحاث المياه التابع لمعهد الكويت للأبحاث العلمية: "لا توجد في الكويت أنهار وبحيرات دائمة وتعتبر المياه الجوفية مصدرنا الطبيعي الوحيد من المياه ويبلغ متوسط هطول الأمطار في بلدنا ١١٥ مم فقط في السنة ولا توجد لدينا جداول من المياه العذبة." لذلك فإنَّ السياسات الفعالة لإدارة المياه هي سياسات حيوية لضمان جودة المياه المتاحة وضمان كميات كافية منها للاستجابة لطلبات سكان البلد البالغ عددهم أكثر من أربعة ملايين نسمة.

إحدى عالمات معهد الكويت للأبحاث العلمية تستخدم حاضنة لتحضير عينات المياه لغرض تحليل البكتيريا. التقنيات النظيرية أساسية لدراسة نوعية المياه.

(الصورة من: د. كالما/الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

”علينا النظر في جميع المناطق التي تتاح فيها مياه الشرب، ففيها تستطيع تكنولوجيا النظائر أن تساعد في إجراء دراسات استقصائية، لأنها تنظر في الاستخدام الأمثل لجميع الموارد المائية اللازمة لتحقيق التنمية المستدامة.“

— خالد هادي، مدير إدارة العمليات، مركز أبحاث المياه، معهد الكويت للأبحاث العلمية

(الصورة من: د. كالما/الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

وتوجد احتياطيات المياه الجوفية الكويتية بالأساس في الجزء الشمالي من البلد وهناك كميات محدودة من المياه المتجددة، فنسبة ضئيلة فقط من مياه الأمطار تصل إلى هذه المستودعات المائية الجوفية.

وتعتبر الهيدرولوجيا النظيرية أحد الأساليب العلمية الرئيسية التي يستخدمها الخبراء في الكويت لتعقب أثر حركة المياه العذبة ولتقييم عمر المياه الجوفية المتاحة. وتقوم النظائر المختلفة المنقولة في الماء بدور "واسِمات" يمكن استخدامها لتحديد مصدر المياه وعُمرها وحركتها وتفاعلاتها فوق الأرض وتحتها (انظر الصفحة ٤ لمعرفة المزيد). ويستطيع الخبراء بفضل البيانات التي يحصلون عليها ويصوِّرونها كخرائط هيدرولوجية اتخاذ قرارات قائمة على الأدلة بشأن إدارة الموارد المستدامة. ولقد أجرى الراشد وزملاؤه عدة دراسات هيدرولوجية نظيرية لإدارة المياه الجوفية في الكويت.

ويُعدُّ معدّل استخدام المياه في الكويت من بين أعلى المعدّلات في العالم، إذ إن حجم استهلاك الفرد الواحد يفوق ٤٠٠ لتر في اليوم. ويبلغ معدَّل سحب المياه الجوفية في الكويت ٢٥٥ مليون متر مكعَّب في السنة. وفي المقابل، يُقدَّر التدفق الطبيعي للمياه الجوفية إلى مستودعات المياه الجوفية بنحو ٦٧ مليون متر مكعَّب في السنة. وبوجود موارد محدودة من المياه العذبة، فإنَّ الكويت تعتمد إلى حد كبير على تحلية مياه البحر، وهي عملية باهظة الثمن.

وقال خالد هادي، مدير إدارة العمليات في مركز أبحاث المياه بمعهد الكويت للأبحاث العلمية: "علينا النظر في جميع المناطق التي تتاح فيها مياه الشرب، ففيها تستطيع تكنولوجيا النظائر أن تساعد في إجراء دراسات استقصائية، لأنها تنظر في الاستخدام الأمثل لجميع الموارد المائية اللازمة لتحقيق التنمية المستدامة."

وقال نادر العوضي، المسؤول التنفيذي لشؤون التعاون الدولي في معهد الكويت للأبحاث العلمية، إنَّ الجهود الوطنية تركِّز على إجراء دراسات استقصائية لموارد المياه الجوفية باستخدام الهيدرولوجيا النظيرية بالاقتران مع الأساليب الفيزيائية الكيميائية، فتقيِّم تجدد مياه تهاطل الأمطار، وتضع استراتيجية مثلى لإنتاج المياه، ثم تقيِّم جدوى التجديد الصناعي لمستودعات المياه الجوفية.

الدراسات المتعلقة بالمياه، دعم المختبرات

دأبت الوكالة على دعم الكويت منذ عام ٢٠٠٠ من خلال مختلف مشاريع التعاون التقني، مما أدى إلى فهم موارد المياه الجوفية المتاحة والإجراءات التصحيحية لتعزيز سياسات إدارة المياه.

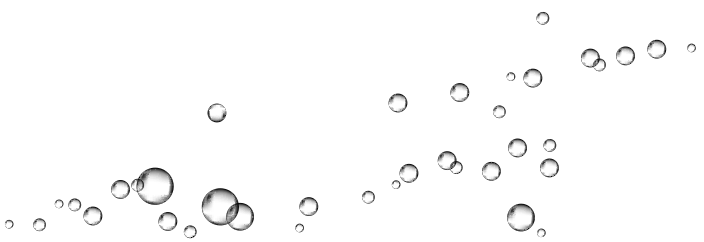
فعلى سبيل المثال، هناك مشروع تعاون تقني تدعمه الوكالة بشأن إجراء دراسات استقصائية نظيرية لتقييم هيدرولوجيا المياه الجوفية في الكويت وقد ركَّز على جمع البيانات النظيرية للمياه الجوفية التي أُدمِجت فيما بعد مع البيانات التي جُمِّعت خلال دراسات سابقة لأغراض رسم الخرائط النظيرية للمياه الجوفية التي تشمل البلد بالكامل. وساعد تطبيق التقنيات النظيرية في تفسير منشأ المياه الجوفية وعمرها وحركتها، وهي معلومات أساسية لإدارة الموارد المائية إدارة مستدامة.

وهناك مشروع آخر ركَّز على تقييم مصادر التلوث المحتملة من النترات والكبريت في حقول المياه الجوفية في الكويت من خلال تحديد الخصائص النظيرية. وقد شمل دراسة مستويات المواد المشعّة الموجودة في البيئة الطبيعية في المياه الجوفية. وتبيَّن للباحثين أنّ المصدر الرئيسي للكبريت والنترات في المياه الجوفية هو طبيعي لا نتيجة لنشاط بشري.

وتُرسل بعض العينات المائية إلى مختبر الهيدرولوجيا النظيرية التابع للوكالة في فيينا بالنمسا من أجل تقييمها.

وقدَّمت الوكالة أيضاً الدعم في إنشاء مختبر الكويت للهيدرولوجيا النظيرية، وهو مختبر يضم أحدث الأجهزة المتاحة من خلال مشاريع الوكالة للتعاون التقني. وتنطوي المجالات الأخرى المتصلة بالمساعدة على بناء القدرات على تدريب العلماء وإجراء الأبحاث بشأن مجموعة من المسائل المتعلقة بالمياه الجوفية.

وقالت سميرة السيد عمر، مديرة معهد الكويت للأبحاث العلمية: "إنَّ حكومة الكويت تقدّر كثيراً الدور المحوري الذي تضطلع به الوكالة من خلال أنشطتها ودعمها للدول الأعضاء في أنشطة الترويج من خلال بناء القدرات على الصعيد العالمي وإقامة الشبكات وتبادل المعارف وإرساء الشراكات في مختلف مجالات الاستخدامات السلمية للعلوم والتكنولوجيا النووية."

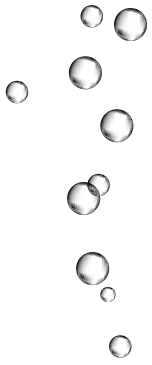


دراسة تجد أن المياه في مدينة فلبينية آمنة للشرب

بقلم ميكلوس غاسبر

أكدت التقنيات النظيرية أن مياه المدينة في خزانات المياه خلف هؤلاء الأولاد، وفي العديد من الأحياء الجديدة في مدينة تاكلوبان، آمنة للشرب.

(الصورة من: ميكلوس غاسبر/الوكالة الدولية للطاقة الذرية)



مياه الشرب في مدينة تاكلوبان، وهي مدينة في الفلبين تعداد سكانها ٢٥٠٠٠٠ نسمة، آمنةٌ، وتتجدّد بانتظام، وليست عُرضة لتهديد من البحر. هل تبدو المسألة بسيطة؟ استغرق التوصُّل إلى هذا الاستنتاج سنواتٍ من البحوث إلى جانب تحليل آلاف عينات المياه، واستلزم الأمرُ استخدام التقنيات النظيرية من جانب باحثين من معهد البحوث النووية الفلبيني (PNRI)، بدعم من الوكالة الدولية للطاقة الذرية ومنظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو).

وعندما ضربت عاصفةٌ عاتية ناجمة عن إعصار هايان، أحد أقوى العواصف المدارية المسجَّلة على الإطلاق، ودمّرت أغلب هذه المدينة وقتلت الآلاف من قاطنيها في عام ٢٠١٣، واجهت السلطات المحلية مهمة شاقة لإعادة البناء، بما في ذلك نقل السكان بعيداً عن المناطق الأكثر عُرضة للفيضانات. ولكن هل كان من الممكن أن تصلَ الأمواج التي جَرَفت المباني والناس إلى خزان المياه في المدينة؟

كان ثمة خطر أن تلوِّث العاصفة العاتية مستودعاتِ المياه الجوفية، وهي طبقة تحت الأرض من صخور نفاذية تحتوي على مياه جوفية، وتمثل تلك المستودعات مصدر المياه الرئيس في المدينة. وكان يمكن أن يتسبَّب الملح والملوِّثات الأخرى التي تحملها الفيضانات، بما في ذلك المواد العضوية من الجثث الحيوانية والبشرية، في جعل المياه غير صالحة للاستهلاك. لذا لجأ معهد البحوث النووية الفلبيني إلى برنامج الوكالة للتعاون التقني ملتمساً مساعدته في استخدام التقنيات النظيرية لتوصيف مستودعات المياه الجوفية.

ليست كلّ جزئيات المياه متساوية

وفي حين أن جميع جزيئات الماء تتكون من ذرة أكسجين وذرتين من الهيدروجين، فإن نسبة صغيرة من هذه الذرات تحتوي على نيوترونات إضافية في نواتها. وتعتمد نسبة ذلك بدقة على عُمر المياه ومصدرها. لذا فإنَّ تحليل البنية النظيرية للمياه الجوفية يتيح للباحثين معرفة ما إذا كانت مستودعات المياه الجوفية تتجدَّد، ويُقصد بذلك أن تصل إليها جرعة منتظمة من المياه "الجديدة" بفعل الأمطار.

وأقام العلماء ٣٢ محطّة رصد للمياه الجوفية واستعانوا بتقنيات تقليدية ونووية على حدّ سواء لتوصيف المياه. ووجد العلماء كمية ضئيلة للغاية من الصوديوم والكلوريد، ما جعلهم يستنتجون أن مياه البحر لم تتسلل إلى مستودع المياه الجوفية. ووجدوا أيضاً أن التركيبة النظيرية للمياه في مستودع المياه الجوفية قريبة من تركيبة مياه الأمطار اليوم، ما يعني أن إمدادات المياه في المدينة لم تكن عُرضة لخطر الاختفاء، وذلك حسبما أوضح ريموند سوكفانغ، أحد كبار الباحثين في معهد البحوث النووية الفلبيني، وهو الذي قاد المشروع. وفي هذا الصدد، قال سوكفانغ: "تاكلوبان مدينة آخذة في النمو وذات اقتصاد متنام، لذلك من المريح لنا أن نعرف أن مياهها الجوفية تتجدد من المطر."

وتركيز النيتروجين والمواد العضوية في الماء متدنٍّ جدًّا، ما يشير إلى عدم حدوث أي تلوث بيولوجي. وهنا قال سوكفانغ: "هذه الملوِّثات المحتملة ربما تآكلت قبل أن تتمكّن من الوصول إلى المياه الجوفية."

وتتمثل الخطوة التالية من المشروع في أن يقوم معهد البحوث النووية الفلبيني بتحديد المعدّل الدقيق لتجدُّد المياه، وبناءً عليه يقدّم المعهد توصيات السياسات إلى الحكومة المحلية من أجل حماية إمدادات المياه في المدينة. وأضاف سوكفانغ قائلاً: "من الجيد أن نعرف أنه لا يوجد خطر مباشر، ولكن لا تزال هناك حاجة لسياسة تتعلق بالاستخدام المستدام للمياه."

البحث عن مياه الشرب تحت الأرض

على مدى السنوات القليلة الماضية، نشأ حيٌّ جديد في الجزء الشمالي من تاكلوبان، يقطنه كثيرون ممَّن دُمّرت منازلهم في إعصار عام ٢٠١٣. ويمثّل توافر المياه في المنطقة، التي يقطنها ١٠٠٠٠ نسمة، مشكلة، وقد أظهرت الأبحاث التي أجراها معهد البحوث

النووية الفلبيني أن المياه الجوفية الواقعة تحت المنطقة المأهولة حديثاً ملوَّثة بالرصاص والزرنيخ، وعليهِ فإنها غير صالحة للاستهلاك البشري. وقال سوكغانغ إن هذا التلوُّث مردُّه على الأرجح إلى موقع طمر نفايات غير خاضع للتنظيم عند حافة قطعة الأرض المقسَّمة.

وكان هذا الخبر صادماً لإيدي راسونابي، القاطن في المنطقة وأحد قادة مجتمعه المحلي. "نعرف الآن أن ليس باستطاعتنا الاعتماد على الآبار، وسيكون علينا أن ندفع مقابل الحصول على المياه." وقال راسونابي إنَّ المضخات اليدوية التي بُنيت في البداية بمساعدة وكالات الإغاثة الدولية تستغل أحد مستودعات المياه الجوفية الضحلة فقط، وتنبعث من المياه رائحة كريهة. ونتيجة لذلك، هو مضطر إلى شراء المياه المعدنية للشرب والطهي، وهذا إنفاق كبير لهذا الأب الذي يعول سبعة أبناء، وكذلك الأمر بالنسبة للكثير من جيرانه. لكن ثمة حلّ في الأفق: فقد تعاقدت الحكومة المحلية مع شركات خاصة لجلب مياه الشرب من مستودع المياه الجوفية غير الملوَّث في المدينة، ويستخدم معهد البحوث النووية الفلبيني النظائرَ لرصد فيما إذا كانت المياه الجوفية التي يتم ضخّها من هذه الآبار العميقة تفي بمتطلبات الجودة، ولضمان أن معدّل الاستخراج مستدام.

”من الجيد أن نعرف أنه لا يوجد خطر مباشر، ولكن لا تزال هناك حاجة لسياسة تتعلق بالاستخدام المستدام للمياه.“

— ريموند سوكغانغ، كبير الباحثين، معهد البحوث النووية الفلبيني

إيدي راسونابي لا يمكنه أن يشرب الماء من بئره الخاص لاحتوائه على نسبة عالية من الرصاص والزرنيخ، وفقاً لدراسة أجراها معهد البحوث النووية الفلبيني. تم إنشاء هذا الحيّ لإيواء قاطنيه ممَّن دُمِّرت منازلهم السابقة في إعصار هايان عام ٢٠١٣.

(الصورة من: ميكلوس غاسبر/الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

النظائر تساعد على اقتفاء أصل تلوُّث المياه الحضرية في موريشيوس

بقلم لوتشيانا فيغاس

قد تكون الأنشطة الزراعية، وتصريف مياه المجارير بطريقة غير قانونية، واستيلاد الحيوانات من بين مصادر التلوث بالنيتروجين في الممرات المائية الحضرية حول بورت لويس، عاصمة موريشيوس، وفقاً للنتائج الأولية لدراسة أُجريت بدعم من الوكالة واستخدمت التقنيات النظيرية. وعند المستويات المفرطة، يمكن أن تجد بعض مركبات النيتروجين، مثل النترات، طريقها إلى الممرات المائية في المناطق الحضرية لتشكّل خطراً على الناس والبيئة.

وقال يانيك فاني، المسؤول العلمي في المختبر الوطني للبيئة في بورت لويس، وهي أكبر مُدن الجزيرة ومركزها التجاري بتعداد سكان يناهز ٢٠٠٠٠٠ نسمة: "التلوُّث بالنترات مبعث قلق كبير في البلاد." "أحرزت الدراسة تقدُّماً كبيراً، وتُظهر النتائج الأولية أن التلوُّث بالنترات ينشأ على الأرجح من الأسمدة الطبيعية (الزبل) وفضلات الإنتان، مثلما ينشأ عن المواد العضوية الذائبة في التربة."

إذ يُعدُّ النيتروجين من الأسمدة الرئيسية ويُستخدم على نطاق واسع منذ منتصف القرن العشرين. لكنه يمكن أن يشقّ طريقه، في حال الإفراط في استخدامه، إلى الأنهار والمياه الجوفية من خلال الصرف الزراعي، ولكن أيضاً من خلال شبكات الصرف الصحي، ومَعالِف الحيوانات، والأنشطة الصناعية.

والنترات أحد مركّبات النيتروجين وأحد المغذيات الأساسية للنباتات. وتشكّل النترات، عندما تكون بكميات مفرطة، مصدر قلق للصحة العامة، إذ من الممكن أن تُضعف قدرة الدم على نقل الأكسجين في أنحاء الجسم. ويمكن للنترات أيضاً أن تتسبّب في تكاثُر الطحالب الضارة في البحيرات والأنهار، مما يقلّص التنوع البيولوجي وقدرة النُّظم الإيكولوجية المائية على دعم الخدمات القيّمة، مثل السياحة والصيد التجاري.

وفي عام ٢٠١٦، بدأ العلماء العمل مع الوكالة لاستخدام التقنيات النظيرية في تقييم منشأ التلوّث بالنترات بعد أن اكتشفت السلطات تلوّثاً بالنترات حول بورت لويس. وتمّ العثور على الملوّثات في الجداول والأنهار، مما يهدد المناطق المحمية، مثل محمية الطيور Rivulet Terre Rouge Estuary. وتسبّب تكاثر الطحالب السامّة في المحيط في وقوع سلسلة من حوادث نفوق الأسماك، ما أثار شكاوى في أوساط الصيادين المحليين.

> **"ستخبرك الكيمياء التقليدية عن مقدار التلوث بالنيتروجين في نهر ما، ولكنها لن تكشف لك عن منشأ هذا التلوث. ويمكننا الحصول على مثل هذه المعلومات من تحليل نظائر النترات."**
>
> — إيوانيس ماتياتوس، أخصائي هيدرولوجيا النظائر، الوكالة الدولية للطاقة الذرية

ويمكن أن تكون مصادر مثل هذا التلوث متعددة الجوانب: أنظمة التخلص من مياه الصرف الصحي غير المناسبة من الأُسر، وخزانات الإنتان المعيبة، والتصريفات الصناعية، وتربية الحيوانات، والأنشطة الزراعية. وإنّ معرفة مَن المسؤول عن التلوُّث بالنترات أو ما الذي يتسبَّب بها يمكن أن يساعد واضعي السياسات على اتخاذ إجراءات مستنيرة لحماية الأنهار والمياه الجوفية.

وقد يكون من الصعب كشف النقاب عن مناشئ النترات في الممرات المائية. وقال إيوانيس ماتياتوس، أخصائي هيدرولوجيا النظائر في الوكالة: "ستخبرك الكيمياء التقليدية عن مقدار التلوث بالنيتروجين في نهر ما، ولكنها لن تكشف لك عن منشأ هذا التلوث. ويمكننا الحصول على مثل هذه المعلومات من تحليل نظائر النترات."

وبدعم من مساعدة تقنية، جمع علماء من المختبر الوطني للبيئة بياناتٍ كيميائية ونظيرية في ١٤ محطة نهرية و١٥ حفرة سبر مائية في جميع أنحاء المدينة، وحدّدوا الآليات التي تؤثر في جودة المياه في جميع أنحاء المنطقة. وأخذوا عينات من مركبات النيتروجين في الممرات المائية في بورت لويس وقاموا بتحليل تلك العينات وذلك بدعم من برنامج الوكالة للتعاون التقني في شكل زيارات خبراء وتدريب ومعدات. وشملت الطريقة التي استخدموها تحليل "البصمات" الفريدة للنترات في جزيئات الماء من خلال النظر في التركيبة النظيرية للجزيئات (اقرأ المزيد عن هذا في الصفحة ٥).

اتخاذ إجراءات

ستشكّل نتائج مشروع التعاون التقني للوكالة ركيزة تقرير شامل يتضمّن بين دفّتيه نتائج وتوصيات ليست موجَّهة إلى المسؤولين الحكوميين فحسب، بل أيضاً إلى المجتمعات المحلية. وقال فاني: "يمكن أن تساعد مسارات العمل المستهدفة من قبل جميع أصحاب المصلحة المعنيين على معالجة أو تحسين الوضع القائم في هذه الأوساط الحضرية بالسرعة اللازمة."

كذلك شكّل التعاون نقطة انطلاق لتعزيز أنشطة رصد المياه في أنحاء موريشيوس. وقد بدأ العلماء في

أخصائية في مجال هيدرولوجيا النظائر تأخذ عينات مياه من موقع تلوّث تم اكتشافه حول بورت لويس.
(الصورة من: إيوانيس ماتياتوس/الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

المختبر الوطني للبيئة في رسم خريطة للمناطق التي تسهم أكثر من غيرها في التلوُّث بالنيتروجين في الممرات المائية، وهم يجمعون عينات المواد المصدرية لإنشاء مخزون من البصمات النظيرية لتحديد الملوِّثات.

وهنا يقول ماتياتوس: "في المستقبل، عندما تقع حوادث، ستتمكن السلطات من أن تطابق عينات المياه بسرعة مع مصادر التلوُّث وأن تعرف على الفور نوع النشاط الذي من المرجّح أن يكون وراء ذلك."

استخدام التقنيات النظيرية لرسم خريطة موارد المياه الجوفية وتحليلها في منطقة الساحل

بقلم نتالي ميخائيلوفا

”بشكل عام، تمثل نُظم مستودعات المياه الجوفية الواقعة في الأحواض المشتركة المختلفة احتياطيًّا كبيراً من المياه الجيدة النوعية لتلبية معظم الاحتياجات البشرية.“

— كامل الزواري، الأستاذ ومدير المختبر، المدرسة الوطنية للمهندسين بصفاقس، تونس

على الرغم من سلسلة من موجات الجفاف وقلّة هطول الأمطار باستمرار على مدى العقود القليلة الماضية، تأوي منطقة الساحل كتلاً مائية غنية — مخبّأة تحت الأرض.

ويثير تزايُد الطلب على المياه الناجم عن نمو السكان وأوجه عدم التيقُّن المحيطة بالموارد المائية بفعل تغيُّر المناخ واستخدام الأراضي مسألةَ كيفية ضمان سلامة وكفاية المياه النظيفة للشرب، وإنتاج الأغذية، والصرف الصحي. وبالنسبة لمنطقة شبه قاحلة مثل منطقة الساحل فإنّ اقتناء الأدوات العلمية الصحيحة والكفيلة بتوفير مزيد من المعلومات عن إمدادات المياه الجوفية يمكن أن يعني الحصول على مياه نظيفة على المدى الطويل.

وفي إطار مشروع تعاون تقني للوكالة انطلق في عام ٢٠١٢، تمَّ تدريب علماء من بنن وبوركينا فاسو وتشاد وتوغو والجزائر وجمهورية أفريقيا الوسطى والسنغال وغانا والكاميرون ومالي وموريتانيا والنيجر ونيجيريا على أخذ عينات من المياه لغرض تحليل النظائر من أجل إجراء مسح مفصَّل لإمدادات المياه الجوفية. وغطّى المشروع أجزاء من خمسة نُظم مستودعات مياه جوفية عابرة للحدود في المنطقة هي: نظام مستودعات المياه الجوفية إيلوميدين، ونظام ليبتاكو-غورما-فولتا العليا، والحوض السنغالي-الموريتاني، وحوض بحيرة تشاد، وحوض تاوديني.

وجُمعت أكثر من ٢٠٠٠ عينة مياه من مستودعات المياه الجوفية المختلفة على مدار فترة أربع سنوات خلال كلٍّ من الموسمين الجاف والرّطب.

وقال كامل الزواري، الأستاذ ومدير المختبر بالمدرسة الوطنية للمهندسين في صفاقس بتونس والذي يعمل على تنفيذ المشروع: "بالاستعانة بالمقتفيات النظيرية والكيميائية، تمكّن العلماء من جمع معلومات مهمة عن منشأ المياه الجوفية، وأنماط تدفُّقها، وزمن بقائها، ومعدّل تجدُّدها. وحدّد العلماء أيضاً التفاعلات الهيدروليكية بين مستودعات المياه الجوفية الضحلة والعميقة، وبين مستودعات المياه الجوفية والمياه السطحية. وجُمّعت هذه المعلومات في قاعدة بيانات مخصَّصة لكل حوض." لمعرفة المزيد عن التقنيات المستخدمة، انظر الصفحة ٤.

وأدّت هذه الأنشطة البحثية إلى إنشاء أول لمحة عامة واسعة عن المياه الجوفية في منطقة الساحل، على مساحة قدرها خمسة ملايين كيلومتر مربع. وقال الزواري: "بشكل عام، تمثل نُظم مستودعات المياه الجوفية الواقعة في الأحواض المشتركة المختلفة احتياطيًّا كبيراً من المياه الجيدة النوعية لتلبية معظم الاحتياجات البشرية."

استخدام البيانات لتطوير ممارسات إدارة المياه

أصدر العلماء من كلّ بلد تقارير وطنية متاحة الآن لسلطات المياه لديهم لاستخدامها كأساس لاتخاذ القرارات. ففي شمال غانا، على سبيل المثال، كشف الرصد الروتيني للتركيب الكيميائي والنظيري للمياه الجوفية عن آليات تجدُّد المياه الجوفية ومصادر التلوث التي أُغفلت في السابق.

وقال إينوك أساري، رئيس شعبة المياه الجوفية في هيئة الموارد المائية في غانا: "باستخدام النظائر المستقرة للمياه — الأكسجين-١٨ والهيدروجين-٢ — كشفنا عن أن المياه الجوفية مياه جوية، وهذا يعني أن مصدرها هو هطول الأمطار المحلية". وقال إنَّ تحليلات التريتيوم قد كشفت عن أن المياه الجوفية قد جدَّدت مستودع المياه الجوفية في الخمسين عاماً الماضية. وتابع قائلاً: "تم استخدام النيتروجين-١٥ لتحديد مصادر التلوث بالنترات في أجزاء من حوض نهر فولتا البيضاء، وتبيّن أن التلوث ناجم في معظمه عن نفايات بشرية وحيوانية." وتحديد مصدر التلوث يمكن أن يساعد السلطات على حماية المياه، لأنه يكشف ن كيفية تجدُّد المياه الجوفية، وهذه مسألة أساسية لضمان استدامتها.

ويعتمد توافُر المياه الجوفية لتغطية الاحتياجات البشرية على كميتها وجودتها ومعدل تجدُّدها. والمعلومات المتعلقة بمصدر المياه الجوفية وعمرها ضرورية لتقييم استدامة المورد بشكل ملائم، خاصة في ضوء أنشطة السحب الحالية أو المخطط لها.

وقال أساري: "من المتوقع أن تزيد أنشطة المشروع من تعزيز قدرة أصحاب المصلحة على فهم المنظومة

باحثان من جامعة بانغي يأخذان عينات مياه من بئر في جمهورية أفريقيا الوسطى.

(الصورة من: لورا غيل/الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

الهيدرولوجية في غانا بشكل أفضل ومن ثم وضع سياسات ستصون استغلال موارد المياه الجوفية، مما يضمن توافر المياه في جميع الأوقات."

وقد بدأ في عام ٢٠١٨ مشروعُ متابعةٍ لتعزيز إدماج إدارة موارد المياه الجوفية في بلدان منطقة الساحل في عام ٢٠١٨. وسيتّبع منهجية مشروع مبادرة الوكالة لتعزيز توافر المياه (IWAVE) — بقيادة بنن وغانا والكاميرون والنيجر ونيجيريا — لتحديد الفجوات في المعلومات الهيدرولوجية الوطنية ووضع خُطط مناسبة لبناء القدرات.

وتتألف منهجية IWAVE من تحليل الثغرات والتشاور مع أصحاب المصلحة، ووضع استراتيجية مثالية لإدارة المياه الجوفية، وتحديد القدرات التقنية الأساسية للاستثمار فيها.

وستسهم الشبكة القائمة من المؤسسات الوطنية في تحسين توصيف موارد المياه الجوفية وإدارتها ورصدها باستخدام الهيدرولوجيا النظيرية والتقنيات التقليدية.

الشبكة العالمية لاستخدام النظائر في دراسة الأمطار

منذ عام ١٩٦١، تشترك الوكالة والمنظمة العالمية للأرصاد الجوية في إجراء دراسة استقصائية على مستوى العالم لحالة نظيرَي الهيدروجين (^{2}H, ^{3}H) ونظير الأكسجين (^{18}O) في دراسة الأمطار.

واسم الشبكة المعنية برصد النظائر هو الشبكة العالمية لاستخدام النظائر في دراسة الأمطار، المعروفة اختصاراً في الإنكليزية باسم GNIP. وتمثّل هدفها الأول في الانتظام في جمع البيانات الأساسية الخاصة بمحتوى النظائر في الأمطار على نطاق عالمي لتحديد التقلُّبات الزمانية والمكانية للنظائر البيئية في دراسة الأمطار. ومن خلال هذه المعلومات، يتسنى للعلماء التعرف على أصل المياه وحركتها وتاريخها. وأنشأت الوكالة مختبر الهيدرولوجيا النظيرية دعماً لهذا العمل.

ومن خلال هذا المختبر، أصبحت بيانات النظائر الأساسية متاحة لأغراض الاستقصاءات الهيدرولوجية. وأتيحت هذه البيانات على الإنترنت للباحثين والممارسين في جميع أنحاء العالم منذ التسعينيات فصاعداً. وهي تُسْتَخْدَم الآن لدراسة الموارد المائية، وكذلك لتفسير المحفوظات المناخية السابقة وهجرات الحيوانات.

وتضم الشبكة العالمية لاستخدام النظائر في دراسة الأمطار أكثر من ٣٥٠ موقعاً نشطاً لأخذ العينات في أكثر من ٩٠ بلداً وإقليماً. وعلى الرغم من أن مختبر الهيدرولوجيا النظيرية التابع للوكالة لا يزال طرفاً أساسيًّا في تحليل عينات الأمطار التي تجمعها الشبكة، فإن أكثر من ٦٠ مختبراً، أُنْشِئَ العديد منها من خلال مشاريع التعاون التقني التابعة للوكالة، تساهم في هذا التحدي التحليلي.

وتتعهد الوكالة قاعدة البيانات المركزية الموجودة لدى الشبكة، التي تحتوي على أكثر من ١٣٠ ٠٠٠ سجل لنظائر الأمطار مأخوذة من أكثر من ألف موقع. كما أن الوكالة مشاركة بفعالية في البحث والتطوير لمساعدة العلماء في جمع عينات الأمطار. فعلى سبيل المثال، طوَّرت الوكالة أداة أخذ عينات للأمطار مأمونة من التبخر تتسم بالموثوقية وسهولة الاستخدام وتتطلب قدراً أقل من المعالجة التمهيدية في المختبر.

وتُسْتَخْدَم البيانات التاريخية والحالية المأخوذة من قاعدة بيانات الشبكة للتحقق من نماذج التنبؤ المناخي وزيادة تحسينها (انظر الصفحة ٢٤)، وكذلك فيما يخص التطبيقات الأخرى.

ولمعرفة المزيد، يرجى الإطلاع على الموقع الإلكتروني التالي: h2o.iaea.org

الشبكة العالمية لاستخدام النظائر في دراسة الأمطار بالأرقام

إدارة ميزانية المياه لديك بمساعدة تقنية التريتيوم/الهليوم-٣

بقلم نيكول جاويرث

تشبه إدارة المياه إدارة الأموال في حسابك المصرفي: تحتاج إلى أن تعرف بدقة مقدار ما سَيَرِدُ إلى حسابك، ومقدار ما يمكنك أن تسحب من حسابك، وما قد يتسبب في تغيير ذلك. وقد تترتب على التقدير الخاطئ عواقب وخيمة ربما يطول أمدها. وفي عالم المياه، قد يعني هذا حالات نقص في المياه أو تلوث الموارد المائية وعدم صلاحيتها للاستخدام.

وأحد العوامل الأساسية لإعداد ميزانية مائية موثوقة هو معرفة العمر الدقيق للمياه. فبالنسبة للمياه الصغيرة العمر، التي يرجح تأثرها بالظروف المناخية الحالية والتلوث، يستخدم العلماء تقنية التريتيوم/الهليوم-٣. ويعمل علماء من ٢٣ بلداً، باستخدام هذه التقنية وغيرها، مع الوكالة لجمع بيانات بشأن الموارد المائية.

وقال السيد حميد مراح، مدير الدراسات والأبحاث العلمية في المركز الوطني للطاقة والعلوم والتقنيات النووية بالمغرب: "ينبئك عمر المياه على الأرجح بالمصدر الذي وردت منه، ومدى سرعة تجددها، ومدى احتمال تعرضها للتلوث." وأضاف: "وباستخدام تقنية التريتيوم/الهليوم-٣، يمكننا القول إن عمر المياه يبلغ عاماً أو ٥ أعوام أو ٢٥ عاماً بدلاً من القول بأنها صغيرة أو كبيرة العمر أو كلاهما."

وقد يتراوح عمر المياه من بضعة أشهر إلى ملايين السنين. وإذا كان عمر المياه عاماً واحداً مثلاً، فهذا يعني أنها ستستغرق عاماً واحداً لتتجدد ويزيد احتمال تأثرها بالظروف المناخية الحالية والملوّثات. وإذا كان عمرها ٥٠٠٠٠ عاماً، ستستغرق ٥٠٠٠٠ عاماً لتتجدد ويقل احتمال تلوثها أو تأثرها بالتغيرات الموجودة في المناخ الحالي.

وتوجد تقريباً جميع إمدادات المياه العذبة المتوفرة في العالم في مستودعات المياه الجوفية، وهي الطبقات المسامية من الصخور النفاذية الموجودة تحت سطح الأرض. ويُطلق على المياه التي تحتويها المياه الجوفية. ومع إعادة امتلاء أو تجدد المياه الجوفية، تتدفق في النهاية إلى البحر أو إلى الخارج نحو سطح الأرض بصورة طبيعية كأنهار وينابيع وبحيرات.

وقال السيد مراح: "إن الطلب المتزايد على المياه الجوفية، مقترناً بتأثير الزراعة وتغير المناخ والنشاط البشري يجعل الاستدامة أمراً أكثر أهمية." واستطرد قائلاً: "عندما نستخرج قدراً كبيراً من المياه من مستودع مياه جوفية، ينخفض منسوب المياه وقد يكون ذلك كارثيًّا. فنحن لا نتحدث عن ١٠ إلى ٢٠ عاماً من الآن: فأثر ذلك يدوم لأجيال."

وتقنية التريتيوم/الهليوم-٣ هي إحدى التقنيات الأكثر شيوعاً المستخدمة لدراسة المياه الصغيرة العمر، وهي المياه التي يقل عمرها عن ٦٠ عاماً (انظر مربع العلوم). ويمكن للبيانات المستقاة من هذه الدراسات أن تساعد متخذي القرارات في وضع استراتيجيات وسياسات ذات أهداف أكثر تحديداً واستدامة لإدارة الموارد المائية.

وقال ريكاردو سانشيز موريلو، اختصاصي الهيدرولوجيا النظيرية والأستاذ المشارك بالجامعة الوطنية في كوستاريكا: "استخدام التقنيات النووية في دراسات الموارد المائية هو خروج عن النماذج المتبعة ويُغَيِّر فهمنا التقليدي للمحركات الرئيسية التي تحكم العمليات الهيدرولوجية." وأضاف: "ففي كوستاريكا، على سبيل المثال، تشق النتائج المستقاة من استخدام التقنيات النظيرية طريقها نحو خطط إدارة المياه واتخاذ القرارات، مما يساعد البلد على تحقيق الهدف ٦ من أهداف الأمم المتحدة للتنمية المستدامة المتعلق بالمياه بحلول عام ٢٠٣٠."

يستخدم العلماء التقنيات النظيرية لدراسة عمر وأصل المياه من الينابيع في شمال المغرب.

(الصورة من: المركز الوطني للطاقة والعلوم والتقنيات النووية)

ميزانية أكثر دقة

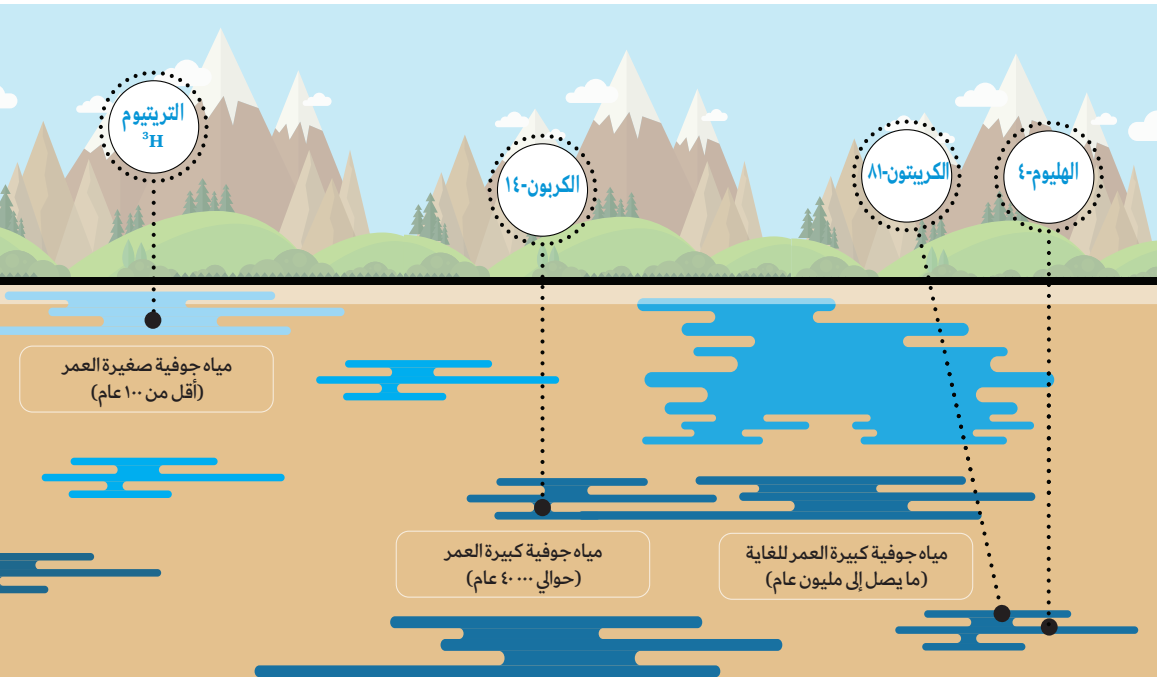
أصبحت تقنية التريتيوم/الهليوم-٣ تقنية ذات أهمية متزايدة خلال العقد الماضي لأن الأساليب السابقة التي تستخدم التريتيوم فقط أضحت أقل جدوى.

وقال السيد مراح: "يمكن للتريتيوم أن يدلنا على عمر المياه الجوفية وفيما إذا كانت تتجدد، وهذه معلومات مهمة للغاية، بيد أن التريتيوم وحده لا يمكنه أن يعطينا مستوى التفاصيل التي نحتاجها. ويحتاج متخذو القرارات إلى معرفة المزيد: ماذا يعني أن المياه صغيرة العمر؟ وكيف نحكم على المياه الصغيرة العمر بأنها كذلك؟". وبسبب الاختبارات التي أجريت في الغلاف الجوي لأجهزة حرارية نووية في الخمسينيات، زادت مستويات التريتيوم بشكل حاد في الغلاف الجوي في الستينيات ثم انخفضت تدريجيًّا منذ ذلك الحين. وأضاف السيد مراح: "من الستينيات إلى التسعينيات، كان التريتيوم مادة اقتفاء جيدة، ولكنه أصبح أقل عدداً اليوم في الغلاف الجوي لأنه يتحلل إلى الهليوم -٣، ولذلك نركز الآن أكثر على نسبة التريتيوم إلى الهليوم-٣، وهذا أكثر دقة."

والهليوم غاز خامل، أي أنه مستقر وليس له تفاعلات كيميائية مع العناصر الأخرى الموجودة في الصخور أو المياه. وهذا يجعله نقطة مرجعية متسقة وموثوقة. ويتسنى للعلماء تحديد العمر الدقيق للمياه الصغيرة العمر من خلال معرفة تركيز الهليوم الناتج عن التريتيوم — الهليوم-٣ — مقارنة بإجمالي الهليوم الموجود في المياه، وكذلك تركيز الغازات الخاملة الأخرى.

وقال تاكويا ماتسوموتو، محلل النظائر في الوكالة: "يتنامى استخدام الغازات الخاملة في دراسات المياه لأن الأجهزة التحليلية الآن قد تطورت بما يكفي للكشف عن الكميات الضئيلة للغاية التي تَرِدُ بها هذه الغازات". وأضاف: "وعلى الرغم من ذلك، ليس مجدياً من الناحية الاقتصادية أو ممكناً بالنسبة لكثير من البلدان أن تنشئ مختبراتها الخاصة لإجراء هذه التحليلات. ويتيح مختبر الهيدرولوجيا النظيرية التابع للوكالة هذه الخدمة للبلدان حتى تتمكن من الاستفادة من هذه التقنية المتطورة."

ومختبر الهيدرولوجيا النظيرية التابع للوكالة هو واحد من قلة قليلة من المختبرات على مستوى العالم القادرة على إجراء هذه التحليلات. وابتداء من عام ٢٠١٠، أمضى فريق من خبراء الوكالة وخبراء خارجيين من عشرة بلدان ستَ سنوات في إعداد جهاز مطياف كتلي تابع للوكالة ومعايرته واختباره، وكذلك النموذج الرياضي لتحليل النتائج. كما وضعوا مبادئ توجيهية بشأن استخدام تقنية التريتيوم/الهليوم-٣. ويعمل المختبر منذ ذلك الحين على مدار الساعة ويعالج ما بين ٣٠٠ إلى ٤٠٠ عينة كل عام من بلدان العالم أجمع.



يمكن استخدام النظائر المشعة الطبيعية المنشأ الموجودة في المياه، مثل التريتيوم (^{3}H) والكربون-١٤ (^{14}C)، ونظائر الغاز الخاملة الذائبة في المياه، مثل الكريبتون-٨١ (^{81}Kr)، لتقدير عمر المياه الجوفية.

(الصورة من: الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

العلوم

التريتيوم هو أحد النظائر الثلاثة للهيدروجين. وكنظير مشع، يتحلل التريتيوم خلال فترة زمنية معينة ويتحول إلى الهيليوم-٣، وهو نظير مستقر لا يتحلل. ويعلم العلماء أن الأمر يستغرق حوالي ١٢ عاماً لنصف ذرات التريتيوم في الماء لكي تتحلل إلى الهليوم-٣.

ويستخدم العلماء جهازاً متخصصاً يسمى المطياف الكتلي لفرز النظائر حسب الوزن وتحديد تركيزاتها. ومن خلال معرفة هذه التركيزات والوقت الذي يستغرقه التريتيوم ليصبح هليوم-٣، يمكن للعلماء تتبُّع وتحديد عمر المياه وعدد مرات تجددها.

التشقق الهيدروليكي: كيفية دعم الهيدرولوجيا النظيرية للتقييمات البيئية للمساعدة على حماية المياه الجوفية

بقلم ميكلوس غاسبر

من الممكن أن يتسبب أي نشاط صناعي بالقرب من احتياطيات المياه، من حيث المبدأ، في التلوث. وتوفر الهيدرولوجيا النظيرية توليفة فريدة من طرق رصد جودة المياه وتعقب مصدر التلوث إن وجد. وتستفيد البلدان، على نحو متزايد، من هذه التكنولوجيا لحماية المياه السطحية والجوفية الواقعة بالقرب من المواقع المستخدمة لاستخراج النفط باستخدام تقنية تعرف بالتشقق الهيدروليكي.

وأتاح التشقق الهيدروليكي الإنتاج من موارد النفط والغاز الطبيعي التي كان يتعذر الوصول إليها سابقاً. وهو يستأثر بحوالي نصف إجمالي إنتاج الولايات المتحدة من النفط، ويفكر العديد من البلدان النامية في استخدامه لأول مرة.

والتشقق الهيدروليكي تقنية لتحفيز الآبار حيث يتم تكسير الصخور من خلال حقن سائل بضغط عال. ويتألف هذا السائل من الماء والرمال وغيرها من الإضافات الكيميائية. ويُحْدِث التشقق الهيدروليكي، عند حقن هذا السائل من خلال البئر، تشققات في التكوينات العميقة للصخور والتي يمكن للنفط والغاز الطبيعي أن يتدفقا من خلالها بحريّة أكبر. وتتيح هذه الطريقة الوصول إلى النفط والغاز العالقين في التكوينات الضيقة والتي لا يمكن الوصول إليهما باستخدام طرق الحفر والمضخات التقليدية.

وقد تتلوث المياه السطحية من خلال التسرب أثناء التشقق الهيدروليكي، أو الانبعاث العَرَضي من حفرة النفايات التي يتم فيها استعادة سائل التشقق بعد الاستخراج؛ ويمكن أن تتلوث المياه الجوفية إذا تسرّب السائل، على سبيل المثال، عبر الآبار المهجورة أو المسرَّبة؛ كما يمكن أن تتلوث مياه الشرب إذا تسرب الغاز الطبيعي إلى مستودعات المياه الجوفية الضحلة.

وقالت جينيفر ماكنتوش، أستاذة الهيدرولوجيا وعلوم الغلاف الجوي بجامعة أريزونا في الولايات المتحدة، إنه في العديد من الحالات التي يشتبه فيها بحدوث تلوث، يكون من الصعب تحديد مصدر التلوث ومداه بسبب الافتقار إلى البيانات الأساسية. وقالت: "هناك فرصة للمجتمع العلمي لكي يوفر الإرشادات بشأن أفضل الطرق التحليلية لتقييم تسرب الغاز المتفلت وسائل التشقق الهيدروليكي أو تلوث المياه الجوفية."

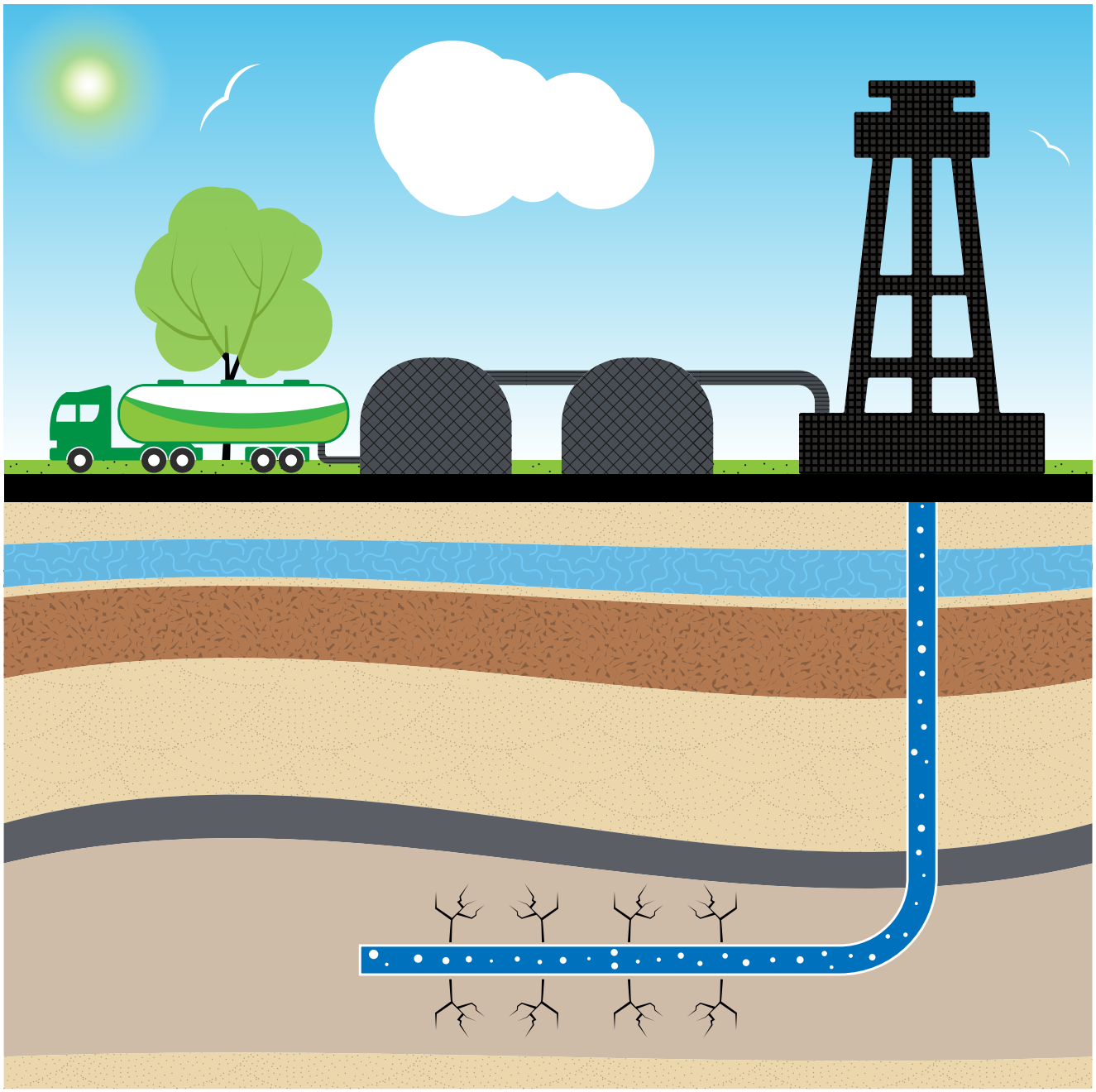
كيف يمكن للهيدرولوجيا النظيرية تقديم المساعدة

شرحت ورقة بحثية قدَّمتها مؤخراً السيدة ماكنتوش و١٤ كاتباً آخر من جامعات رائدة من جميع أنحاء العالم الكيفية التي يمكن بها استخدام تقنيات الهيدرولوجيا النظيرية لرصد تأثير التشقق الهيدروليكي على المياه الجوفية والسطحية. كما قدّمت توصيات بشأن الطريقة الواجب استخدامها في ظل مجموعة مختلفة من الأوضاع والظروف البيئية. وفي اجتماع تقني للوكالة، تولَّدت الأفكار الأولية للورقة المعنونة "استعراض نقدي للنُّهُج الحديثة والناشئة لتحديد الغازات التي يتسبب فيها التشقق الهيدروليكي وحالات التلوث المرتبطة في مستودعات المياه الجوفية" (A Critical Review of State-of-the-Art and Emerging Approaches to Identify Fracking-Derived Gases and Associated Contaminants in Aquifers)، التي نُشِرت في مجلة العلوم والتكنولوجيا البيئية (*Environmental Science and Technology*) في كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٨، وقد عُقِد هذا الاجتماع قبل النشر بعامين.

وتتوفر أدوات تحليلية قوية لتحديد مصادر السائل الملوَّث بفضل التطورات التحليلية الحديثة باستخدام مقتفيات النظائر طبيعية المنشأ في الهيدروكربونات، ومجموعات البيانات العالية الدقة للغازات الطبيعية والسوائل المرتبطة من السطح إلى الخزانات المستهدفة، ودمج الكيمياء الجيولوجية للغازات الخاملة وعلم الأحياء المجهرية في نُهُج هيدروجيولوجية وجيوكيميائية أكثر تقليدية.

ويمكن أن تنشأ بصورة طبيعية في المياه الجوفية مواد مثل المواد المشعة الموجودة في البيئة الطبيعية أو الملح، ولكن قد يكون وجودها نتيجة للتلوث. ويمكن استخدام الهيدرولوجيا النظيرية للتمييز بين هذه المصادر. وتعتمد التركيبة النظيرية للمصدر على منشئه: يمكن أن تتوفر بيانات بشأن منشأ المياه ومكوناتها المذابة من خلال قياس تركيزات العناصر الثانوية، والنظائر المستقرة في المياه والمكونات الذائبة، والنظائر الإشعاعية المنشأ لليود والرادون والسترُنشيوم. ويمكن لهذا، بالإضافة إلى التحليل الكيميائي التقليدي للأيونات، أن يكشف عن منشأ المياه وما إذا كانت المواد التي تحتويها أتت نتيجة التشقق الهيدروليكي أو نشاط بشري آخر أو أنها موجودة بصورة طبيعية في البيئة.

والوضع النموذجي قبل البدء في التشقق الهيدروليكي هو إجراء مسح نظيري أساسي للمياه الجوفية والسطحية



في المنطقة لتحديد خصائص المياه في المنطقة قبل الحفر. وأوضحت السيدة ماكنتوش أنه يمكن بعد ذلك اختبار الشكوك المتعلقة بحدوث تلوث بسبب أنشطة التشقق الهيدروليكي بصورة نظيرية مقارنةً بهذه المعلومات الأساسية.

ويتيح نهج نظيري مركَّب ناشئ، باستخدام "نظائر مجمعة" لغاز الميثان، للعلماء اختبار الوضع الجزيئي لنظائر الهيدروجين في غاز الميثان بالنسبة إلى ذرة الكربون المفردة الموجودة فيه، مما يعطي رؤى تشخيصية جديدة بشأن خزانات الغاز التي قد تكون الغازات الضالة قد وردت منها، أو لتمييز ما إذا كان الميثان قادم من مصادر حرارية عميقة أو تولَّد بصورة طبيعية في مستودعات المياه الجوفية من خلال بكتيريا التربة، أو مزيج مما ذُكِر أعلاه. وقالت السيدة ماكنتوش: "يمكن للمقتفيات الإشعاعية الجديدة الخاصة بتحديد عمر المياه الجوفية مثل نظيرَي الكربتون-٨١ والأرغون أن تساعد على تحديد المدة التي يمكن أن تظل خلالها الملوِّثات ذات الصلة بالتشقق الهيدروليكي وإنتاج النفط والغاز في مستودعات مياه الشرب."

ويقدم القسم الختامي من الورقة البحثية مبادئ توجيهية لبرنامج مرحلي لتحديد التلوث. ويقدم خريطة طريق استراتيجية تمكن المسؤولين الرقابيين من اختيار أفضل طريقة هيدرولوجية نظيرية في حالات موقعية محددة.

وأضافت السيدة ماكنتوش أن هناك تطبيقات أوسع لبعض من هذه النُّهُج التي وُضعت للكشف عن التلوث في التشقق الهيدروليكي، منها الخزن تحت سطح الأرض لثاني أكسيد الكربون والتخلص من النفايات النووية.

التشقق الهيدروليكي تقنية لتحفيز الآبار حيث يتم تكسير الصخور من خلال حقن سائل بضغط عال من أجل الوصول إلى النفط والغاز. يمكن للأخصائيين في مجال هيدرولوجيا النظائر رصد جودة المياه واقتفاء مصدر التلوث، إن وجد.

التطلُّع إلى مستقبل الموارد المائية وتأثير تغيُّر المناخ

بقلم نيكول جاويرث

كيف سيؤثر تغير المناخ في إمدادات المياه بعد مائة عام من الآن؟ وللإجابة عن أسئلة من هذا القبيل، يستخدم علماء المياه نماذج علمية. ومن بين هذه النماذج نموذج الوكالة لتوازن المياه المدعوم بالنظائر، والذي يمكن أن يساعد الخبراء بدقة وموثوقية على التنبؤ بتأثير تغير المناخ على موارد المياه في المستقبل البعيد. ويمكن أن تدعم المعلومات التي يجمعها هؤلاء الخبراء متخذي القرارات في وضع سياسات للاستخدام المستدام للمياه للأجيال القادمة.

وتعتمد النماذج على البيانات الموجودة وتُسْتَخْدَم لدراسة وفهم الأفكار والأجسام والعمليات التي يصعب مراقبتها مباشرة. ويتضمن ذلك وضع توقعات، مثل التنبؤ بالأحوال الجوية في الأسبوع المقبل أو تقدير معدلات البطالة على مدى السنوات الخمس القادمة. وفي حين تقدم النماذج صيغة أكثر عمومية وتبسيطاً للعالم الواقعي، فإن كل جانب من جوانب النموذج تتمّ معايرته لتوفير انعكاس دقيق لكيفية عمل العالم الحقيقي.

وتصف نماذج توازن المياه دورة المياه من حيث هطول الأمطار، والتبخر النتحي، وتدفق المجاري المائية، والتغيرات في تخزين المياه. وبخلاف العديد من النماذج التقليدية لتوازن المياه، يستخدم نموذج الوكالة النظائر لمعايرة النموذج والتحقق من دقته لأن النظائر متميزة ومتسقة في سلوكها (انظر الصفحة ٤). ويمكن للعلماء، من خلال نموذج توازن مياه جرت معايرته بشكل جيد والتحقق منه، الحصول على تقدير دقيق لما يمكن توقعه في المستقبل، مثل تأثير تغير المناخ في الموارد المائية بعد مائة عام أو أكثر من الآن.

توقعات دقيقة على المدى الطويل

قال ديسي نيداو هابتماريام، الأستاذ المشارك في جامعة أديس أبابا بإثيوبيا، إن الدقة مهمة، بالنسبة إلى أي بلد ومناخ، في هذه الدراسات الطويلة الأجل المتعلقة بالمياه لما يمكن أن يكون للمبالغة أو التهوين في تقدير إمدادات المياه في المستقبل من آثار ضارة.

وقال هابتماريام: "إذا أخطأنا في تقدير مدى سرعة تجدد المياه، على سبيل المثال، وكانت تقديراتنا مرتفعة للغاية، ثم نقلنا هذه النتائج إلى متخذي القرارات، فقد ينفذوا سياسات تؤدي إلى استخراج المياه الجوفية بشكل أسرع من إمكانية تجددها." وتعتبر المياه الجوفية — المياه في طبقة الصخور النفاذية تحت سطح الأرض — مصدراً رئيسيًّا للمياه العذبة بالنسبة لغالبية سكان إثيوبيا. وأضاف هابتماريام: "هذا من شأنه أن يؤدي إلى انخفاض حاد في إمدادات المياه الجوفية المتاحة، مما قد يعني التخلي عن حُفر السبر وربما يؤدي إلى نقص في مياه الشرب."

ومن ناحية أخرى، يمكن أن يؤدي التهوين في التقدير إلى سياسات صارمة غير ضرورية بخصوص المياه أو إلى التأثير في القرارات المتعلقة بالتنمية، مثل إعاقة التوسع الحضري بسبب نقص الموارد المائية.

وقالت تريشيا ستادنيك، الأستاذة المشاركة في هندسة الموارد المائية بجامعة مانيتوبا في كندا، إنه بالنسبة لهذه الدراسات الطويلة الأجل التي تزيد عن ١٠٠ عام أو أكثر، شكّل الحصول على نتائج دقيقة باستخدام نماذج أخرى لتوازن المياه تحدياً كبيراً. وأضافت قائلة: "تؤدي العديد من نماذج توازن المياه عملاً جيداً للغاية في محاكاة تدفق المياه في الجداول والأنهار وغيرها من المسطحات المائية، ولكنها سيئة للغاية في تحديد كمية التبخر النتحي بشكل صحيح"، في إشارة إلى عملية تبخر المياه من اليابسة وحركة المياه من النباتات إلى الغلاف الجوي. واستطردت قائلة: "بالنسبة لتوقعات تغير المناخ، فهذه مشكلة كبيرة لأن التبخر النتحي هو أحد الأشياء الكبيرة التي ننظر فيها."

وعندما تصبح درجات الحرارة أكثر تطرفاً بسبب تغير المناخ، فإن معدل التبخر النتحي يصبح كذلك أيضاً. وكلما زاد التبخر النتحي، قلَّ الماء على سطح الأرض، والعكس صحيح. وهذا، بدوره، يؤثر في دورة المياه السنوية بأكملها ويمكن أن يؤدي إلى حالات بالغة الشدَّة لا يمكن التنبؤ بها تتأرجح بين قلة المياه بشدَّة، مما يسبِّب الجفاف، وكثرة المياه بشدَّة، مما يسبِّب الفيضانات.

ولا يوجد مناخ محصن ضد هذه التغييرات. ويمكن لهذه التغييرات أن تؤثر في مناخ مثل مناخ كندا، حيث تشكل أكثر من ٦٠٪ من مساحة اليابسة شكلاً من أشكال الجليد السرمدي — أرض متجمدة — وهناك أربعة فصول مميزة، أو مناخ مثل مناخ إثيوبيا،

حيث يكون جزء كبير من البلاد مداريًّا وتبقى درجة الحرارة ثابتة تقريباً على مدار العام.

ويمكن تسجيل هذه الظروف المتنوعة عن طريق تعديل النموذج، مما يجعله قابلاً للتطبيق عالميًّا. ويعمل علماء من العديد من الدول مع الوكالة لتلقي التدريب والدعم في استخدام نموذج الوكالة لتوازن المياه المدعوم بالنظائر وغيره من النماذج لتحسين إدارة الموارد المائية. وفي إثيوبيا، على سبيل المثال، جرى إطلاق مشروع تعاون تقني مدته ثلاث سنوات لدراسة حوض أواش العلوي – وهو خزان كبير للمياه الجوفية يوفر المياه العذبة لأكثر من ٢,٦ مليون شخص. وتنشئ بلدان أخرى، مثل كندا، أو أنشأت بالفعل شبكات لأخذ عينات النظائر لتحسين الدقة عند استخدام نماذج مثل نموذج الوكالة.

يمكن أن يساعد نموذج الوكالة لتوازن المياه المدعوم بالنظائر الخبراءَ بدقة وموثوقية في التنبؤ بتأثير تغير المناخ في موارد المياه في المستقبل البعيد.

(الصورة من: ل. تورو/الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

نموذج الوكالة لتوازن المياه المدعوم بالنظائر

يستخدم العلماء نموذج الوكالة لتوازن المياه المدعوم بالنظائر لمحاكاة وتقدير التأثير الطويل الأجل لتغير المناخ في حركة المياه وتوافرها طوال دورة المياه — من الجو إلى سطح الأرض، إلى جوف الأرض ثم تكرار ما سبق. ويدمج هذا النموذج توازن كتلة النظائر لكل عنصر من عناصر توازن المياه في خطوة شهرية لتحسين عملية معايرته والتحقق منه.

ويشمل البرنامج الحاسوبي المفتوح المصدر والسهل الاستخدام الخاص بالنموذج، الذي أُدْخِل لأول مرة في عام ٢٠١٥، أدوات للمعالجة التمهيدية والنمذجة والتحليل لتسهيل توصيل البيانات وتصور النتائج وتحليلها. وهو مصمم للعمل مع مجموعة متنوعة من مجموعات البيانات المحلية والعالمية المتعلقة، من بين أمور أخرى، بالمناخ، والغطاء النباتي، وهطول الأمطار، وتدفق المياه، والطوبوغرافيا، والتربة. وتعتمد البيانات النظيرية المستخدمة لمعايرة النموذج والتحقق من نتائجه عموماً على البيانات المجمعة محليًّا، وكذلك البيانات المستمدة من المستودعات العالمية، مثل الشبكة العالمية لاستخدام النظائر في دراسة الأمطار (GNIP، انظر الصفحة ١٨) والشبكة العالمية لاستخدام النظائر في دراسة الأنهار (GNIR).

تحقيق المستوى الجيد

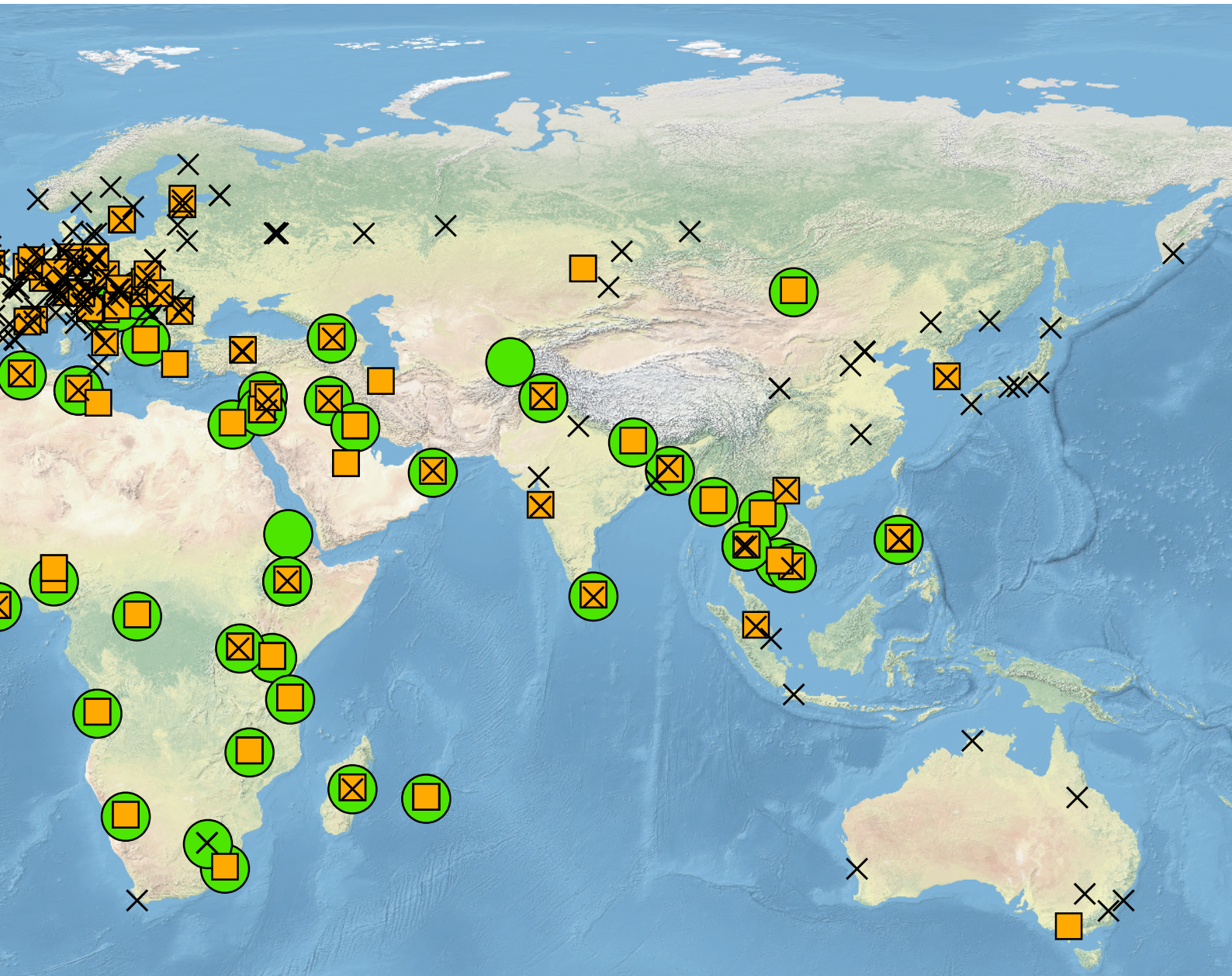
اختبار الوكالة لمدى جودة تحليل المختبرات للمياه

بقلم لورا غيل

ممتاز، أو جيد، أو مشكوك فيه أو غير مقبول: ما مدى جودة تحليل كيمياء المياه لديك؟ يمكن للعلماء معرفة ذلك من خلال المقارنة. وعلى مدار الثلاثين عاماً الماضية، أجرت الوكالة مقارنات للهيدرولوجيا النظيرية فيما بين المختبرات شملت المئات منها وأصبحت الوكالة مصدراً عالميًّا لاختبارات كفاءة الهيدرولوجيا النظيرية.

وقال لويس غونزاليس هيتا، أخصائي التكنولوجيا الهيدرولوجية في المعهد المكسيكي لتكنولوجيا المياه: "أحد الجوانب الرئيسية في أي علم هو جودة قياساتك." وأضاف قائلاً: "وينطبق هذا على الهيدرولوجيا النظيرية أيضاً. وضمان صحة بياناتنا وموثوقيتها يمنحنا قاعدة صلبة لإقناع واضعي السياسات."

وأخصائيو الهيدرولوجيا النظيرية هم العلماء الذين يدرسون الموارد المائية باستخدام بيانات النظائر. وتوفر دراساتهم معلومات بالغة الأهمية لوضع استراتيجيات وسياسات لحماية المياه. وكل أربع سنوات تقريباً، يشارك أكثر من ٣٠٠ مختبر



للهيدرولوجيا النظيرية في اختبارات الكفاءة من خلال المقارنة العالمية فيما بين المختبرات التي تنظمها الوكالة.

وتساعد مقارنة البيانات مع عينات اختبار الوكالة، والتي تشمل مجموعة واسعة من المياه من جميع أنحاء العالم، الموظفين في كل مختبر على اكتشاف نقاط الضعف التحليلية وتحسينها. وتساعدهم على التأكد من أنهم ينتجون باستمرار بيانات دقيقة ومحددة.

وتُعدُّ المقارنات المتقاطعة والمنتظمة أكثر أهمية اليوم من أيّ وقت مضى: فالتكنولوجيا تتقدم بسرعة، مما يجعل طرق وأجهزة الهيدرولوجيا النظيرية أرخص وأيسر منالاً. وعلى الرغم من أن هذه التغيُّرات التكنولوجية لها فوائدها، فإنها تؤدي إلى زيادة مخاطر وقوع الأخطاء نظراً لأن المستجدين في هذا المجال غالباً ما يكون التدريب الذي حصلوا عليه أقل تقدماً.

وقال غونزاليس هيتا: "في الوقت الحاضر، لا سيما من خلال الطرق المعتمدة على الليزر، فإن التكنولوجيا تؤدي الكثير من العمل". وأضاف قائلاً: "هذا يعني أن العلماء يعتمدون أكثر على طرق لإجراء التقييمات، ولكن هذا يعني كذلك أنهم يعتمدون بدرجة أقل على مجموعات المهارات".

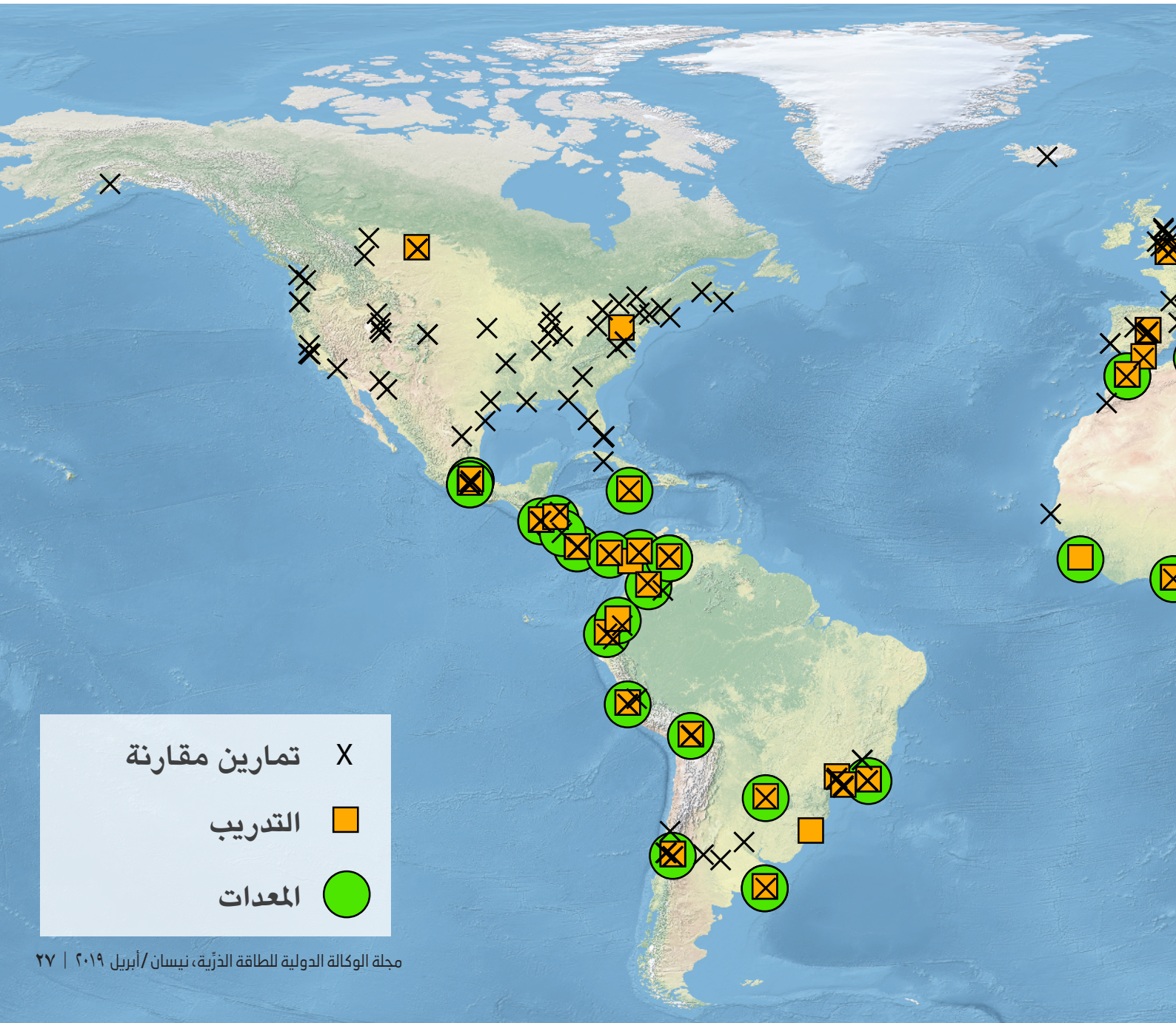
السعي إلى التميز

هناك نوعان من مشاريع المقارنة فيما بين المختبرات. الأول هو مقارنة النظائر المائية فيما بين المختبرات (WICO)، والذي يختبر قدرة المختبرات على إجراء قياسات للديوتيريوم (^{2}H) والأكسجين-١٨ (^{18}O) في عينات المياه. ويتيح قياس هذه النظائر بدقة للعلماء تحديد عمر وأصل المياه (اقرأ المزيد في الصفحة ٤).

والنوع الآخر هو المقارنة البينية الدولية لتحليل التريتيوم (TRIC)، والذي يتحقق من قدرة المختبرات

تُظهِر الخريطة المدن التي شاركت في تمارين المقارنة فيما بين المختبرات (مقارنة النظائر المائية فيما بين المختبرات والمقارنة الدولية لتحليل التريتيوم) منذ عام ٢٠١٦، والأماكن التي دربت فيها الوكالة خبراء في مجال الهيدرولوجيا النظيرية منذ عام ٢٠٠٧ والمواقع التي تبرعت فيها الوكالة بأجهزة ليزر نظيرية منذ عام ٢٠٠٧ من خلال برنامج الوكالة للتعاون التقني.

(المصدر: الوكالة الدولية للطاقة الذرية)



على قياس النظير المشعّ الطبيعي التريتيوم (^3H) في المياه. وتُستخدم قياسات التريتيوم لتحليل معدلات تجدد المياه ولدراسة المياه التي تقل أعمارها عن ٦٠ عاماً (انظر الصفحة ٤). وتتحقق المقارنة البينية الدولية لتحليل التريتيوم من مدى دقة وصحة هذه القياسات. وأجري أحدث تمرين للمقارنة البينية الدولية لتحليل التريتيوم في عام ٢٠١٨ بمشاركة قياسية حيث شارك به ٩٠ مختبراً.

وقال ليونارد فاسينار، رئيس مختبر الهيدرولوجيا النظيرية التابع للوكالة الذي مقره فيينا بالنمسا: "الطريقة التي تعمل بها مشاريع المقارنة فيما بين المختبرات طريقة بسيطة." وأضاف قائلاً: "نحن نحضّر ونتحقّق هنا من عينات المياه بعناية ونشحنها إلى كل مختبر. وهناك يحللونها ويرسلون لنا نتائجهم، والتي نقارنها بعد ذلك بقيمنا المرجعية في الوكالة. وفي النهاية، نجمع النتائج في تقرير عام غير محدد الهوية لفائدة المجتمع العلمي، ونرسل بالتوازي تقريراً مفصلاً إلى كل مختبر على حدة مع اقتراحات وتوصيات للتحسين."

وتحتوي التقارير التي تصدرها الوكالة بعد كل تمرين على توصيات قائمة على الأدلة لمساعدة المختبرات في صقل طرقها وتحسين أدائها. كما أنها تساعد خبراء الوكالة على تحديد الثغرات واستهداف مزيد من المساعدة، بما في ذلك تدريب موظفي المختبرات، من خلال برنامج الوكالة للتعاون التقني.

اختبار الانتباه

كان التمرين الأحدث الذي عُقِد في عام ٢٠١٦ بمشاركة ٢٣٥ مختبراً لمقارنة النظائر المائية فيما بين المختبرات هو أكبر مقارنةٍ عالمية على الإطلاق فيما بين المختبرات للنظائر المستقرة. ونُشِرت نتائجه في تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٧ في المجلة العلمية *Rapid Communications in Mass Spectrometry* (الاتصالات السريعة في قياس الطيف الكتلي).

وخلال تمرين مقارنة النظائر المائية فيما بين المختبرات في عام ٢٠١٦، جرَّب فاسينار وفريقه شيئاً جديداً.

وقال فاسينار: "لقد أضفنا الميثانول إلى إحدى عينات المياه لاختبار الانتباه في المختبرات بخصوص اكتشاف الملوِّثات المتدخِّلة — وبطبيعة الحال دون سابق إنذار." وأضاف قائلاً: "بعد أن اكتشفنا أن الكثيرين تجاهلوا هذا الأمر، أتينا ببعض الاستراتيجيات لهم لتحديد وجود الملوِّثات المتدخِّلة في المياه والتي يمكن أن تؤدي إلى نتائج غير صحيحة."

"أحد الجوانب الرئيسية في أي علم هو جودة قياساتك. وينطبق هذا على الهيدرولوجيا النظيرية أيضاً. وضمان صحة بياناتنا وموثوقيتها يمنحنا قاعدة صلبة لإقناع واضعي السياسات."

— لويس غونزاليس هيتا، متخصص في الهيدرولوجيا، المعهد المكسيكي لتكنولوجيا المياه

ووصلت معظم المختبرات المشاركة في مقارنة النظائر المائية فيما بين المختبرات ٢٠١٦ إلى نتائج تتراوح بين المقبولة والممتازة عند تحليل نظائر الأكسجين، وحقق نصفها تقريباً نفس مستوى النتائج عند تحليل الديوتيريوم. ولكن كانت نتائج حوالي ٥ إلى ٦٪ منها سيئة بشكل غير مقبول، وهو ما قال عنه فاسينار إنه يمكن أن يُعزى إلى الزيادة السريعة في عدد الأجهزة في المختبرات، مثل أجهزة الليزر المنخفضة التكلفة، وخاصة في المختبرات الأقل خبرة.

وقال فاسينار: "لقد استنتجنا أن أداء المختبر الضعيف ربما نتج عن "المجهولات المعلومة" التي لا يمكن تحديدها من الناحية الكمية." وأضاف قائلاً: "عندما يبدو أن المختبرات تقوم بكل شيء بصورة صحيحة ولكن لا يزال أداؤها سيئاً، فقد يكون ذلك بسبب أخطاء مثل الأخطاء في جداول بيانات المعالجة في برنامج Excel لديها، أو عدم صيانة جهاز ما بشكل سليم. وهذه أخطاء وهفوات بشرية شائعة ولكن قد لا تكون واضحة للمختبر."

وأضاف أن هذه العوامل تشمل العوامل القائمة على المعرفة أو القائمة على المهارات، مثل خبرة المشغِّلين، أو الأخطاء المتعلقة بمعالجة البيانات الأساسية، أو مخالفة بروتوكولات القياس، أو العينات المشكوك فيها أو الأجهزة التحليلية الضعيفة الأداء.

وتشير الدراسات الحديثة المنشورة في مجلة *Accreditation and Quality Assurance* (الاعتماد وتوكيد الجودة) إلى أن الأخطاء البشرية يمكن أن تسهم بشكل كبير في الأداء الضعيف في الوصول إلى مخرجات التحليل الجيوكيميائي. وتدعم الدراسة الاستقصائية التي أجريت بعد عَقْد مقارنة النظائر المائية فيما بين المختبرات في عام ٢٠١٦ للمختبرات المشاركة الفرضية القائلة إن الأخطاء البشرية والتقنية وأخطاء الأجهزة هي المحرك الرئيسي لضعف الأداء النظيري للمياه.

وقال غونزاليس هيتا: "الوقوف على الأخطاء يؤدي إلى التعديل. ومن المهم أن نعرف المكان الذي نصل فيه إلى نتائج موثوقة، والمكان الذي لا نحقق فيه ذلك." وسجّل مختبره في المكسيك درجة كبيرة في الاختبار الأحدث لمقارنة النظائر المائية فيما بين المختبرات. وأضاف: "لقد أتاحت لنا مقارنة النظائر المائية فيما بين المختبرات في عام ٢٠١٦ التأكد من أننا نجري تحليلات جيدة الجودة. ومن الجيد أيضاً أن تعرف ذلك البلدان المجاورة، حيث يمكنها الاعتماد على خدماتنا ويمكننا مشاركة أفضل الممارسات."

إدارة المياه الحضرية: دور الهيدرولوجيا النظيرية وماذا علّمتنا أزمة المياه في كيب تاون

بقلم جودي ميلر

أتاحت أزمة المياه التي شهدتها مدينة كيب تاون بجنوب أفريقيا في الفترة من عام ٢٠١٧ إلى عام ٢٠١٨ فرصةً لتقييم دور الهيدرولوجيا النظيرية في صَوْن سلامة شبكات إمدادات المياه في المناطق الحضرية. وتُعَدُّ سلامة إمدادات المياه مسألة بالغة الأهمية لاستدامة اقتصاد جنوب أفريقيا في الأجل الطويل، وتستلزم فهماً للعلاقة القائمة بين المناخ واستخدام موارد المياه والآثار المحتملة لهذه العلاقة على العوامل الاجتماعية والاقتصادية. وللميزانية المائية لمنطقة ما، ويُقصد بها العلاقة بين مُدخلات ومخرَجات المياه، آثارٌ اجتماعية اقتصادية مهمة، بما في ذلك القدرة على دعم المراكز الحضرية، والحدّ من الفقر، وحماية إمدادات الغذاء والطاقة، وتطوير المهارات العلمية لتوجيه استراتيجيات إدارة المياه المحلية.

وفي السنوات الأخيرة، بلغت هذه المشكلات ذروتها حين أثّر الجفاف الشديد في كيب تاون، المدينة الواقعة في الطرف الجنوبي للقارة الأفريقية بتعداد سكان يناهز ٣,٨ مليون نسمة. وبسبب انخفاض معدل هطول الأمطار إلى ما دون المتوسط بين عامَي ٢٠١٤ و٢٠١٧ عانت مدينة كيب تاون إجهاداً مائياً شديداً خلال فصل الصيف عام ٢٠١٧ إلى عام ٢٠١٨. وتستمدّ المدينة معظم إمداداتها المائية من ستة مرافق لتخزين المياه السطحية بسعةٍ مشتركة إجمالية قدرها ٨٢٨ ٩٩١ مليون لتر. وبحلول آذار/مارس ٢٠١٨، وصل مجمل الماء المخزّن في هذه المرافق إلى أدنى مستوى مسجّل عند أقلّ من ٢٠٪، فيما امتلأ أكبر الخزانات، وهو خزان Theewaterskloof، بنسبة ١٣,٥٪ لا أكثر من قدرته الاستيعابية البالغة ٤٨٠ ١٨٨ مليون لتر. وصدر العديد من التصريحات حول "يوم الصفر" الوشيك — وهو اليوم الذي تغلق فيه المدينة إمدادات المياه البلدية لصَوْن البنية التحتية الأكثر أهمية، مثل المستشفيات. واستجابةً لذلك، طُلب من جميع السكان خفض استهلاك المياه إلى ٥٠ لتراً فقط للشخص الواحد يوميًّا.

وفي النهاية، لم تشهد المدينة "يوم الصفر" نهائيًّا. فقد سمحت الجهود الجماعية التي بذلتها المدينة لتوفير المياه بأن تدوم المياه المخزَّنة إلى حين هطول أمطار الشتاء. ومع ذلك، فقد أحدثَ احتمالُ إغلاق شبكة المياه البلدية تحوّلاً في طريقة استخدام الناس للمياه وتقديرهم لقيمتها، مثلما أحدث تغيّراً حقيقيًّا في أنماط استخدام المياه. وفي الوقت نفسه، فإنّ مسألة كيف يمكن لأحد المراكز الحضرية الكبيرة أن يحمي ويتمّم أمن المياه على المدى القصير قد أثارت أسئلة علمية مهمة، بما في ذلك كيفية تتبُّع وقياس المساهمات النسبية للعديد من مدخَلات المياه المتنوعة التي تصل إلى شبكات الإمداد. ويُستعان بتحلية المياه وإعادة تدوير المياه الرمادية والحصاد المباشر لمياه الأمطار واستخراج المياه الجوفية جميعها لتكملة خزانات المياه السطحية عبر العديد من الشبكات البلدية بمقاييس مختلفة. ولكن يمكن أن يؤثر ما سبق في جودة المياه. وتتطلب إدارة كمية المياه وجودتها معاً في ضوء تدفّقات المدخَلات المتنوعة بشكل متزايد نُهجاً جديدة وأدوات علمية لتطوير استراتيجيات أفضل الممارسات.

الهيدرولوجيا النظيرية الحضرية

من بين الأدوات العلمية المتاحة للمساعدة على تتبُّع مصادر المدخَلات المختلفة للشبكة البلدية دراسةُ النظائر المستقرة للمياه. ودراسة وتطبيق النظائر طبيعية المنشأ للهيدروجين والأكسجين في الدورة المائية في صميم الهيدرولوجيا النظيرية.

وبسبب التوسُّع الحضري الكبير والنمو السكاني، اكتسبت الهيدرولوجيا النظيرية الحضرية زخماً في السنوات الأخيرة كأداةٍ لفهم العمليات التي تنطوي عليها إمدادات المياه في المناطق الحضرية. ويتمثل العنصر الأهمّ في الهيدرولوجيا النظيرية الحضرية في "بصمة" الخصائص النظيرية لكلّ مُدخَل من مُدخَلات شبكة المياه الحضرية لتتبُّع كل مكوّن من خلال النظام. ويمكن أن يستخدم مسؤولو الموارد المائية هذه المعلومات للتخطيط لسياسات إدارة المياه على المديَيْن الطويل والقصير، بما في ذلك رصد المساهمات النسبية، وفترات البقاء في الشبكة، والتسرُّب والخسائر الناتجة عن النظام وإدارة التلوث أو التلويث.

وتمّ تحليل عينات مياه الصنبور التي جُمعت من المنازل الخاصة في جميع أنحاء مدينة ستيلينبوش، موطن جامعة ستيلينبوش ومركز أهم مناطق زراعة كروم العنب في هذا البلد، لتحديد نِسب نظير الأكسجين-١٨ (^{18}O) والديوتيريوم (^{2}H). وترسم النتائج صورة رائعة عن مدى حساسية الهيدرولوجيا النظيرية

جودي ميلر هي أستاذ مشارك في قسم علوم الأرض في جامعة ستيلينبوش بجنوب إفريقيا. ويتركز معظم عملها على مشاريع الهيدرولوجيا النظيرية في جميع أنحاء جنوب إفريقيا وموزامبيق وناميبيا. وهي مشاركة في مشروع بحثي منسَّق للوكالة حول الهيدرولوجيا النظيرية الحضرية، ونائب رئيس الرابطة الدولية للكيمياء الجيولوجية (IAGC)، ونصير منصة البنية التحتية لأبحاث الكيمياء الحيوية الجيولوجية لوزارة العلوم والتكنولوجيا في جنوب إفريقيا.

متوسط هطول الأمطار منذ عام ٢٠١٤ جعل منسوب المياه في سدّ Theewaterskloof في إقليم كيب الغربية بجنوب إفريقيا ينخفض إلى مستويات حرجة.

(الصورة من: سيلفا غاردونو/الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

الحضرية في "رؤية" التقلّبات في شبكة المياه الحضرية. فبدلاً من الماء الموحَّد الشكل الذي نراه بأعيننا ينسكب من الصنبور، تسجّل نِسب النظائر المستويات المرتفعة والمنخفضة، والأنماط المتوافقة والمتباينة.

وتوفر النظائر في جوهرها بصمة كلّ جزء من شبكة إمدادات المياه المحلية: المصدر ، ومحطة المعالجة المختلفة، ومعلومات عن مدة بقاء المياه في شبكة التوزيع. وبينما يسعى مسؤولو الموارد المائية إلى تأمين إمدادات مياه مستدامة في الأجل الطويل للمراكز الحضرية المتنامية في جميع أنحاء العالم، ستصبح الهيدرولوجيا النظيرية الحضرية مكوّناً أساسيًّا ضمن مجموعة أدوات مسؤول الموارد المائية.

جودي ميلر تجمع عينة مياه في كيب الغربية.

(الصورة من: سيلفا غاردونو/الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

رسم خرائط النظائر لتلوُّث المياه الجوفية وتجدُّدها

بقلم جويل بودغورسكي، ومايكل بيرغ، ورولف كيبفر

الحصول على مياه جوفية جيدة للشرب والصناعة والزراعة يزداد صعوبةً بسبب نمو السكان، والإفراط في استغلال المياه، واستخدام الأراضي، والتغيُّرات المناخية. وتوفر موارد المياه الجوفية ٥٠٪ من مياه الشرب في العالم و٤٣٪ من المياه المستخدَمة في الري. لكن مستودعات المياه الجوفية القريبة من السطح تتلوث بسهولة بالأسمدة والمبيدات الحشرية، والانسكابات الكيميائية، ومياه الصّرف. وعلاوة على ذلك، يمكن أن يؤدي الاستغلال المفرط والسحب غير المنضبط للمياه من مستودعات المياه الجوفية إلى فقدان إمدادات المياه بسبب الانخفاض السريع لمستويات المياه.

وتُعدُّ خرائط تعرُّض مستودعات المياه الجوفية مفيدةً لمساعدة المسؤولين عن الموارد المائية في حماية وصَوْن موارد المياه الجوفية. فهي تساعد في تحديد مناطق المناظر الطبيعية الحسّاسة بشكل خاص للتلوث أو الاستغلال المفرط، وبالتالي تساعد في توجيه جهود إدارة المياه واستصلاحها. كذلك يُعَدُّ رسم خريطة تعرُّض المياه الجوفية مفتاحَ دعم الهدف ٦ من أهداف التنمية المستدامة للأمم المتحدة، الذي يدعو إلى تأمين المياه المستدامة للجميع، خاصة المياه المأمونة (المقصد ٦-١). ويدعو الهدف أيضاً إلى إدارة متكاملة للموارد المائية (المقصد ٦-٥).

تعرُّض مستودعات المياه الجوفية

من منظور تقني، ثمة طرق عديدة لتقييم مدى تعرُّض أحد مستودعات المياه الجوفية لتلوُّث المياه أو الاستغلال المفرط. وفي الماضي، تمَّ استخدام المعالم الجيولوجية العامة، وبيانات حفر السبر، والبيانات الهيدرولوجية الإقليمية. غير أنها غالباً ما تكون مبهمة أو غير دقيقة أو مفقودة تماماً. كما تمَّ استخدام نماذج الكمبيوتر المعقدة، ولكنها تتطلب بيانات دقيقة وغالباً ما تعاني من تكاليف حسابية عالية ومحدودية توافر البيانات، ونتيجة لذلك تقتصر عادةً على مجالات الدراسة المحدودة.

ويمكن استخدام المؤشرات الكيميائية والتحليلات الإحصائية للربط بين البيانات البيئية المتاحة وتعرُّض المياه الجوفية. وأحد الأمثلة على ذلك هو النترات، وهو ملوِّث مياه تتسبّب به أساساً الزراعة ويتسم بإمكانية قياسه بسهولة وبتكلفة ضئيلة. ولإنشاء خرائط تعرُّض أو حماية المياه الجوفية، يجب أن تكون بيانات الملوِّث (مثل النترات) أو بيانات مؤشر التعرُّض متاحة في مجال اهتمام مناسب لإنتاج خرائط تنبؤية موثوقة ودقيقة.

الخرائط الشبكية

لإظهار أن الخرائط الإحصائية لتعرُّض مستودعات المياه الجوفية فعّالة، أعيدَ تحليل بيانات مستمدة من خريطة تعرُّض حالية في كندا باستخدام منصة تقييم المياه الجوفية (GAP) المجانية على الإنترنت (www.gapmaps.org). وأنتجت خرائط تعرُّض مستودعات المياه الجوفية المستمدة من منصة GAP خريطة دقيقة للتنبؤ باحتمالات تعرُّض مستودعات المياه الجوفية المرتفعة، دون الحاجة إلى جمع الكثير من البيانات من منطقة الدراسة بأكملها.

استخدام التريتيوم لرسم خريطة معدلات تجدّد المياه

تحدث بصورة طبيعية كميات ضئيلة من النظير المشعّ التريتيوم في هطول الأمطار من خلال تفاعل الإشعاع الكوني في الغلاف الجوي العلوي. وخلال تجارب الأسلحة النووية التي أُجريت فوق سطح الأرض بين عامَي ١٩٥٢ و ١٩٦٢، تمَّ حقن كميات ضخمة من التريتيوم في الدورة المائية، والتي أصبحت نتيجة لذلك مؤشراً قابلاً للقياس لتجدُّد المياه الجوفية الحديثة. وعلى الرغم من أن مستويات التريتيوم العالمية في هطول الأمطار قد انخفضت منذ ذلك الحين إلى المستويات الطبيعية السابقة للقنبلة، فإنّ قدرات الكشف التحليلية الحساسة لا تزال تسمح لنا باكتشاف هذا النظير بدقة.

وتتمثل إحدى المزايا الأساسية لاستخدام التريتيوم، أو ^{3}H، في رسم الخرائط في أن هذا النظير هو لبنة أساسية من جزيء الماء ($^{1}H^{3}HO$) وبالتالي فهو موجود في هطول الأمطار. وهذا يعني أن أيّ تريتيوم قابل للاكتشاف في أجزاء أخرى من الدورة المائية — الأنهار والبحيرات والمياه الجوفية — يكشف عن وجود مياه معاصرة من الأمطار الأخيرة. ويمكن أن يبيّن ذلك لنا أن المياه التي نتعامل معها هي من العقود القليلة الماضية — وهي بيانات يمكن أن نستخدمها في التحديد

يعمل جويل بودغورسكي ومايكل بيرغ ورولف كيبفر في إدارة الموارد المائية ومياه الشرب بالمعهد الفيدرالي السويسري للعلوم والتكنولوجيا المائية (Eawag).

والمعهد الفيدرالي السويسري للعلوم والتكنولوجيا المائية هو معهد سويسري مختص في بحوث الماء ويهتمّ بمفاهيم وتكنولوجيات التعامل بطريقة مستدامة مع المسطحات المائية والمياه كمورد. وبالتعاون مع الجامعات والمؤسسات البحثية الأخرى والهيئات العامة والصناعة والمنظمات غير الحكومية، يعمل المعهد المذكور مع شبكته العالمية لمواءمة المصالح البيئية والاقتصادية والاجتماعية فيما يتعلق باستخدام المياه.

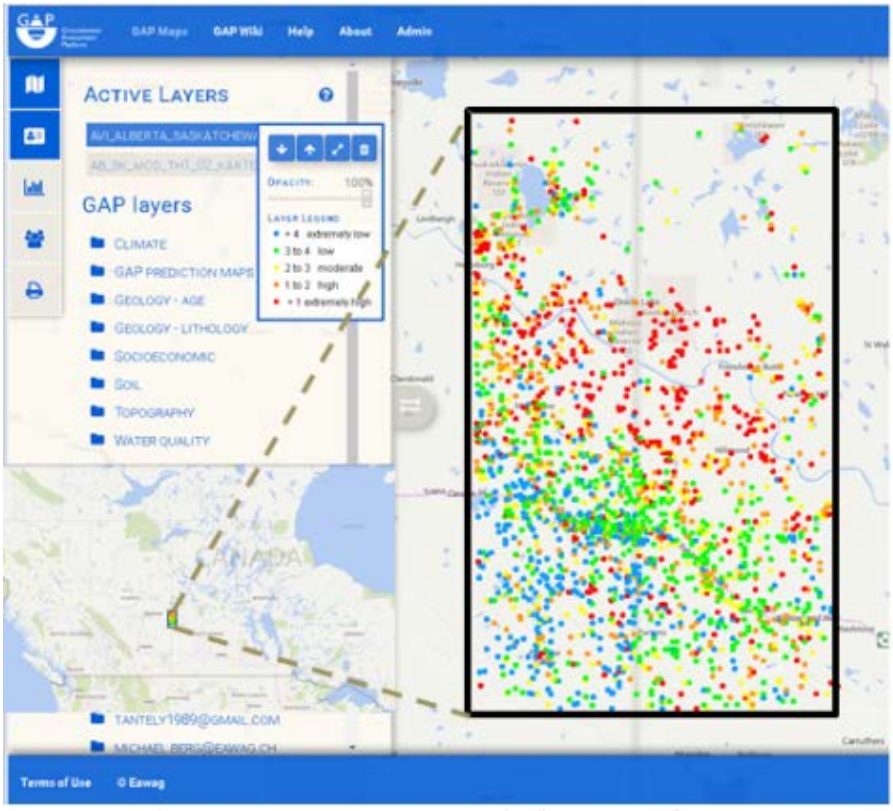
المباشر لقابلية مستودعات المياه الجوفية للتلوّث عن طريق هطول الأمطار ورسم خرائط ذلك، حتى لو لم تكن المياه الجوفية قد تلوّثت من قبل.

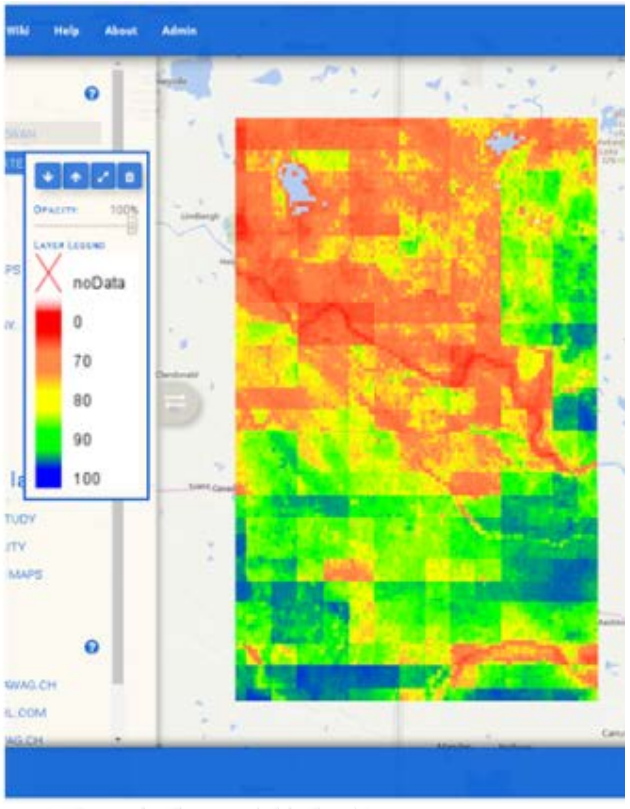
وعموماً لم تُستخدم حتى الآن طرق رسم الخرائط الإحصائية لتقدير مدى تعرُّض مستودعات المياه الجوفية مع قياسات التريتيوم. وذلك لأنّ التريتيوم لا يتمُّ تضمينه عادةً في دراسات المياه الجوفية، ولا يزال التحليل مكلفاً. وفي غضون ذلك، يمكن استخدام معايير جودة المياه أو المعايير النظيرية التي تتسم بسهولة جمعها في رسم خرائط التعرُّض. وعلى سبيل المثال، يمكن أن يساعد أيضاً الكربون-١٤، وتركيب النظير المستقر للمياه (^{2}H, ^{18}O)، والنترات والكلوريد في تقييم عمر المياه الجوفية أو التحقُّق من تعرُّضها للتلوث.

ويمثل رسم الخرائط الإحصائية والشبكية لتعرُّض مستودعات المياه الجوفية وتجدُّد المياه الجوفية باستخدام النظائر والكيمياء تطوراً مهمًّا وتطبيقاً عمليًّا للتريتيوم وما يتصل به من المقتفيات النظيرية الطبيعية. وحاليًّا ثمة إمكانات هائلة في تطبيق مجموعات البيانات العالمية الموسّعة للوكالة على ^{3}H و ^{2}H و ^{18}O، إلى جانب رسم الخرائط الجغرافية الإحصائية الموصوفة أعلاه، على قضايا جودة وكمية المياه الجوفية والسطحية العالمية. وتبذل الوكالة جهوداً جديدة في هذا المجال بالتعاون مع المعهد الفيدرالي السويسري للعلوم والتكنولوجيا المائية (Eawag) من أجل إجراء تقييمات تستند إلى الأدلة ورسم خرائط لمياه الشرب المأمونة على نطاق عالمي. مثلما نتوقع استخدام رسم خرائط النظائر لمساعدة الخبراء من جميع أنحاء العالم على إدارة المياه الجوفية بطريقة متوازنة ومستدامة.

دراسة حول مؤشر تعرُّض مستودعات المياه الجوفية من غرب كندا (يسار) مقارنة بخريطة انحسار لوجستية جديدة لقيم مؤشر التعرُّض على منصة GAP عبر الإنترنت (يمين). يُظهر اللون الأحمر المساحات ذات التعرُّض الأكبر. وأما المساحات الخضراء فهي أقلّ عرضةً أو محمية بشكل ملائم من التلوث السطحي.

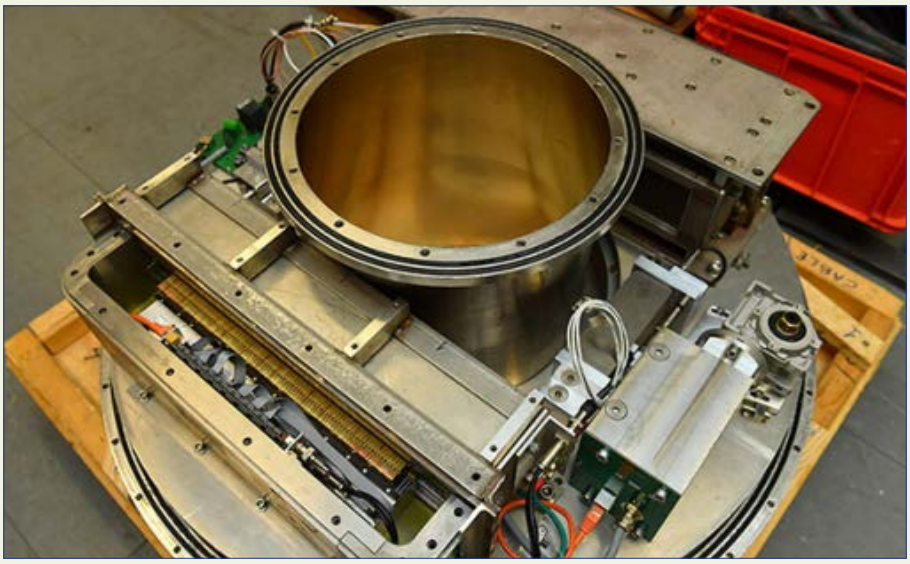
(الصورة من: المعهد الفيدرالي السويسري للعلوم والتكنولوجيا المائية)





كُتب هذا المقال بالتعاون مع أخصائيي الهيدرولوجيا النظيرية في الوكالة.

أداة جديدة في مجال الضمانات تعزز عمليات الوكالة للتحقق من الوقود النووي المستهلَك



المكونات داخل أداة PGET، المستخدمة للتحقق من الوقود النووي المستهلك.

(الصورة من: د. كالما/الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

تسعى الوكالة إلى التحقُّق من أن تظلَّ كلّ المواد النووية، في جميع الدول التي لديها اتفاق ضمانات شاملة نافذ، في نطاق الأنشطة السلمية. وهي تحقق ذلك من خلال تطبيق التدابير التقنية المعروفة باسم الضمانات. ومن شأن الأداة الجديدة القائمة على التصوير المقطعي السلبي بانبعاث أشعة غاما (الأداة PGET) أن تمكّن الوكالة من التحقُّق من عدد قضبان الوقود — أو أوتاده — في مجمّعات الوقود النووي المستهلَك.

وعلى عكس الأدوات الأخرى المستخدَمة للتحقُّق من محتوى الوقود النووي المستهلَك، مثل جهاز رؤية ظاهرة تشيرنكوف وجهاز اختبار خصائص الوقود المستهلَك، يمكن لأداة PGET أن تؤكد أيضاً عدم وجود أوتاد مفقودة من مجمعات الوقود المستهلَك في حاوية مغلقة. وهذا الأمر مفيد جدًّا لتطبيق الضمانات في محطات القوى النووية، ومرافق التخزين تحت الماء، ومحطات التغليف في المستودعات الجيولوجية. ووفقاً لتيم وايت، خبير التكنولوجيا بالوكالة، فإن استخدام التصوير المقطعي السلبي بانبعاث أشعة غاما للتحقُّق من المواد النووية سيمثل "إضافة بالغة القيمة إلى مجموعة أدوات ضمانات الوكالة".

وعند انتهاء العمر النافع لقضبان الوقود في المفاعل، يُعْمَدُ إلى تخزينها، أو التخلص منها، أو تعاد معالجتها في بعض الحالات. ويمثل التحقق من عدم تحريف المواد النووية في القضبان عن الاستخدام السلمي عاملاً جوهريًّا من العوامل التي من شأنها طمأنة المجتمع الدولي بأن الدول تفي بالتزاماتها بعدم الانتشار.

وللكشف عن وجود اليورانيوم أو البلوتونيوم، تأخذ أداة PGET ثلاثة قياسات متزامنة – العدّ الكلي للنيوترونات ولأشعة غاما، وقياس طيف أشعة غاما، والتصوير المقطعي لمواقع أوتاد الوقود المستهلَك. ولا يستغرق الأمرُ الأداةَ إلا خمس دقائق لأخذ تلك القياسات، ودقيقة إضافية لمعالجة البيانات وتحليلها. ويقول السيد وايت إن الأداة PGET، بهذه الطريقة، "تتيح للمفتشين نقطة قياس إضافية." وأردف قائلاً "إنها تسمح بالحصول على صورة أكثر اكتمالاً للأنشطة، وتزيد من متانة عملية التحقق."

ولا تزال المنظمة في المراحل المبكرة لدمج الأداة PGET في أنشطتها في مجال الضمانات. وقد جرى اختبار الأداة في أحواض الوقود المستهلَك في ثلاث محطات لإنتاج القوى النووية، وباتت الآن جاهزة لنشرها ميدانيًّا ليستخدمها مفتشو الضمانات في إطار ممارسات التحقق بموجب الضمانات. وأعرب الاتحاد الأوروبي للطاقة الذرية (اليوراتوم) أيضاً عن اهتمامه باستخدام هذه التكنولوجيا في أنشطة التحقُّق، ويمكن أن يحذو حذوه عدد من الدول.

— بقلم مات فيشر

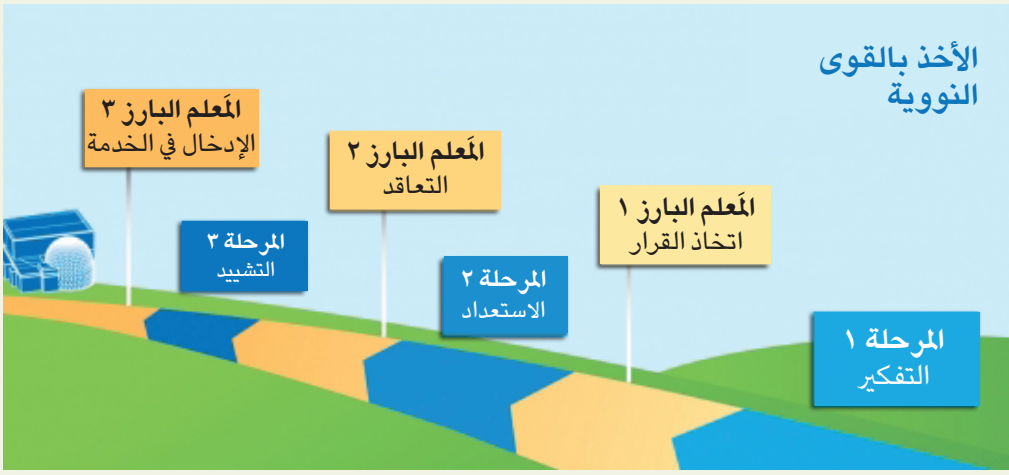
كيفية تحديد المواقع وتقييمها لإنشاء محطات القوى النووية محور حلقة عمل نظمتها الوكالة في أوزبكستان

أكد مسؤولون محليون أن أوزبكستان، وهو أحدث بلد يطلق برنامجاً للقوى النووية، قد بدأت عملية اختيار موقع لمحطة قوى نووية، وتهدف إلى منح ترخيص لموقع في أيلول/سبتمبر ٢٠٢٠. وأوزبكستان من بين نحو ٣٠ بلداً تفكر في الأخذ بالقوى النووية ضمن مزيج الطاقة الخاص بها، أو تخطّط لذلك، أو تتَّخذ خطوات فعلية في هذا الصدد.

وبناءً على طلب من حكومة أوزبكستان، عقدت الوكالة الدولية للطاقة الذرية ووكالة تنمية الطاقة النووية المنشأة حديثاً Uzatom حلقة عمل في شباط/فبراير ٢٠١٩ في طشقند بشأن الجوانب المتعلقة بالأمان وتلك غير المتعلقة بالأمان التي يجب أخذها في الحسبان عند تحديد المواقع وتقييمها لمحطات القوى النووية.

وركزت حلقة العمل المنعقدة بمشاركة Uzatom، والهيئة الرقابية النووية، وغيرهما من المنظمات الوطنية ذات الصلة، على خدمات استعراض الأمان التابعة للوكالة، ومعايير الأمان الصادرة عن الوكالة، وغيرها من الموارد التي تدعم تحديد المواقع وتقييمها لمحطات القوى النووية.

وقال غريغ رزينتكوفسكي، مدير شعبة أمان المنشآت النووية بالوكالة: "يتطلب الشروع في برنامج للقوى النووية التزاماً طويل الأجل بالأمان النووي الذي يبدأ بمجرد اتخاذ قرار المُضي قُدماً". وأضاف قائلاً: "هناك خطوتان مهمتان في وقت مبكر من العملية هُما إنشاء



نهج المعالم المرحلية البارزة للقوى النووية هو أسلوب متدرّج وشامل لمساعدة البلدان التي تنظر في تشييد محطتها الأولى للقوى النووية أو تخطّط لذلك.

(الصورة من: الوكالة)

إطار قانوني ورقابي فعّال وضمان تقييم المواقع المحتملة كما يجب قبل اختيارها للمنشآت النووية.

وتوفر معايير الأمان الصادرة عن الوكالة إرشاداتٍ واضحة في كلا المجالين، ونحن نشجّع جميع البلدان على تطبيقها."

وقامت حلقة العمل بالتعريف بنهج المعالم المرحلية البارزة الخاص بالوكالة فيما يتعلق بتطوير برنامج قوى نووية جديد. وهو يُدرج "الموقع والمرافق الداعمة له" كواحد من ١٩ موضوعاً عن البنية الأساسية النووية تستلزم اتخاذ إجراء بشأنها خلال تطوير برنامج للقوى النووية.

وتمشياً مع نهج المعالم المرحلية البارزة، تقدّم الوكالة خدماتٍ متكاملة، بما في ذلك الأمان، والأمن، والأطر القانونية والرقابية، وتنمية الموارد البشرية، والتخطيط لحالات الطوارئ، والضمانات. ويشمل ذلك استعراضات النظراء والبعثات الاستشارية مثل الاستعراض المتكامل للبنية الأساسية النووية وخدمة استعراض تصميم المواقع والأحداث الخارجية.

— بقلم أيهان ألتينيوولار

كيف ساعدت التقنيات النووية على إطعام شعب الصين

استخدام التكنولوجيات النووية مُدمج بشكل كامل في البحوث الزراعية في الأكاديمية الصينية للعلوم الزراعية. نشاهد هنا فنيًّا يعدّ عينات لاختبار سلامة الأغذية.

(الصورة من: ميكلوس غاسبر/الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

الصّين تمثل ١٩٪ من سكان العالم ولكن ٧٪ فقط من أراضيه الصالحة للزراعة، لذا هي في مأزق: كيفية إطعام سكانها المتزايدين والذين يزدادون ثراءً مع حماية مواردها الطبيعية. واستخدم علماء الزراعة في البلاد، بشكل متزايد، التقنيات النووية والنظيرية في إنتاج المحاصيل على مدار العقود الماضية. وبالتعاون مع الوكالة ومنظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو)، يساعدون الآن خبراء من آسيا وخارجها في تطوير أصناف جديدة من المحاصيل باستخدام التشعيع.

وبينما يتمُّ في العديد من البلدان إجراء البحوث النووية في مجال الزراعة من جانب الوكالات النووية التي تعمل بشكل مستقل عن مؤسسة البحوث الزراعية في البلاد، يتمُّ في الصين دمج استخدام التقنيات النووية في الزراعة في عمل الأكاديمية الصينية للعلوم الزراعية (CAAS) وأكاديميات المقاطعات للعلوم الزراعية. وهذا يضمن أن توضع النتائج موضع التنفيذ على الفور.

وبالفعل، تمّ تطوير ثاني أكثر صنف طافر من القمح استخداماً في الصين، المعروف باسم Luyuan 502، من جانب معهد علوم المحاصيل التابع للأكاديمية الصينية للعلوم الزراعية (CAAS) وأكاديمية شاندونغ للعلوم الزراعية، باستخدام الاستيلاد الطفري المستحثّ فضائيًّا (انظر مربع العلوم). وقال لوكسيانغ ليو، نائب المدير العام للمعهد، إنّ غلة هذا الصنف أعلى بنسبة ١١٪ من الصنف التقليدي، كما أنه أكثر تحمّلاً للجفاف والأمراض الرئيسية. وقد تمّت زراعته على مساحة تفوق ٣,٦ مليون هكتار، وهذه المساحة الشاسعة تعادل تقريباً مساحة سويسرا. وقال ليو إنّ هذا الصنف هو واحد من ١١ صنف قمح تم تطويرها لتحسين تحمُّل للملح والجفاف، وجودة الحبوب، وغلة المحصول.

ومن خلال التعاون الوثيق مع الوكالة والفاو، أطلقت الصين أكثر من ١٠٠٠ صنف من المحاصيل الطافرة خلال الستين عاماً الماضية، وتمثّل الأصناف المطوَّرة في الصين رُبع الطافرات المدرَجة حالياً في قاعدة بيانات الوكالة/الفاو الخاصة بالأصناف الطافرة المنتجة في جميع أنحاء العالم، وهذا ما قالته صبحانة

سيفاسانكار، رئيسة قسم تحسين السلالات النباتية وصفاتها الوراثية في الشعبة المشتركة بين الفاو والوكالة لاستخدام التقنيات النووية في مجال الأغذية والزراعة. وأضافت قائلة إنَّ النُّهج الجديدة لحثّ الطفرات واختيار الطفرات عالية الإنتاجية التي أُنشئت في المعهد هي بمثابة نموذج للباحثين من جميع أنحاء العالم.

ويستخدم المعهد معجّلات الحُزم الأيونية الثقيلة والأشعة الكونية وأشعة غاما إلى جانب المواد الكيميائية لتحفيز الطفرات في مجموعة واسعة من المحاصيل، بما في ذلك القمح والأرز والذرة وفول الصويا والخضروات. وقال ليو: "التقنيات النووية في صميم عملنا، وهي مُدمجة بالكامل في تطوير أصناف النباتات من أجل تحسين الأمن الغذائي.".

كما أصبح المعهد مساهماً رئيسياً في برنامج الوكالة للتعاون التقني على مرّ السنين: فقد شارك أكثر من ١٥٠ من مستولدي النباتات من أكثر من ٣٠ بلداً في الدورات التدريبية المنعقدة فيه واستفادوا من المنح الدراسية المقدّمة من الأكاديمية الصينية للعلوم الزراعية.

وقال توتي تجيبتوسوميرات، رئيس مركز تطبيق تكنولوجيا النظائر والإشعاعات التابع للوكالة الوطنية للطاقة النووية (باتان)، إنَّ باتان والأكاديمية الصينية للعلوم الزراعية تبحثان عن سبل للتعاون في مجال الاستيلاد الطفري للنباتات، فيما يبحث الباحثون الإندونيسيون عن طُرق للتعلم من تجربة الصين. وأضاف قائلاً: "إنّ النشر الفعّال للأنشطة الصينية في مجال الاستيلاد الطفري للنباتات والترويج لها من شأنه أن يفيد البحوث الزراعية في جميع أنحاء آسيا."

من سلامة الأغذية إلى صحة هويتها

يستخدم العديد من المعاهد الأخرى التابعة للأكاديمية الصينية للعلوم الزراعية التقنيات النووية والنظيرية في أعمال البحث والتطوير، وتشارك هذه المعاهد في العديد من مشاريع التعاون التقني والمشاريع البحثية المنسقة التابعة للوكالة. وقد طوَّر معهد معايير الجودة وتكنولوجيا الاختبار للمنتجات الزراعية بروتوكولاً لاكتشاف العسل المزيف، باستخدام تحليل النظائر. وقال تشن جانج، الذي يقود الأعمال البحثية باستخدام التقنيات النظيرية في المعهد، إنَّ كمية ضخمة مما يُباع في الصين على أنه عسل يُعتقد أنها تُنتج صناعيًّا في المختبرات بدلاً من النحل في خلايا النحل، لذا فقد كانت هذه أداة مهمة في قمع المحتالين. وأضاف قائلاً إنه يوجد أيضاً برنامج لتتبُّع المنشأ الجغرافي للحوم البقرية باستخدام نظائر مستقرة.

ويستخدم المعهد التقنيات النظيرية لاختبار سلامة الحليب ومنتجات الألبان والتحقُّق من هويتها — وهذا العمل هو محصّلة مشاريع بحثية منسّقة ومشاريع تعاون تقني للوكالة استمرت من عام ٢٠١٣ إلى عام ٢٠١٨. وتابع قائلاً: "بعد أعوام معدودة من الدعم، نحن اليوم مكتفون ذاتيًّا تماماً."

تحسين كفاءة التغذية

تستخدم معاهد الأكاديمية الصينية للعلوم الزراعية المختلفة نظائر مستقرة لدراسة امتصاص المغذّيات في الحيوانات وانتقالها وعملية الأيض الخاصة بها. وتُستخدم النتائج لتحقيق المستوى الأمثل من تركيبة الأعلاف وجداول التغذية. وقال دينغبان بو، الأستاذ في معهد علوم الحيوان، إنَّ اقتفاء النظائر يحقق مستوى حساسية أفضل من الطرق التحليلية التقليدية، وهذا مفيد بشكل خاص عند دراسة امتصاص المغذيات الدقيقة والفيتامينات والهرمونات والعقاقير الدوائية.

يتطلع العلماء الصينيون إلى استخدام التقنيات النووية لتتبُّع عملية أيض الماشية بشكل أفضل، مثل هذه الماشية في مزرعة بالقرب من بيجين، وزيادة كمية النيتروجين التي تستخدمها الأبقار من الأعلاف.

(الصورة من: ميكلوس غاسبر/الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

وفي الوقت الذي أتقنت فيه الصين استخدام العديد من التقنيات النووية، فإنها تتطلع في العديد من المجالات إلى الوكالة والفاو للحصول على الدعم اللازم: صناعة الألبان في هذا البلد تعاني من انخفاض معدل امتصاص البروتين في الأبقار الحلوب. فالمجترات تستخدم أقلّ من نصف البروتين في علف الحيوان، فيما ينتهي الباقي في الأسمدة والبول. وقال بو: "هذا تبديد بالنسبة للمزارعين كما أن المحتوى النيتروجيني العالي في السماد يضر البيئة." واستخدام النظائر لتتبُّع النيتروجين أثناء انتقاله من الأعلاف عبر جسم الحيوان من شأنه أن يساعد على تحسين كفاءة النيتروجين عن طريق إجراء التعديلات اللازمة على تركيبة العلف. وسيكون هذا مهمًّا بشكل خاص مع استمرار ارتفاع استهلاك الألبان في الصين، والذي يمثل حالياً ثلث المتوسط للفرد الواحد على الصعيد العالمي. "نبحث عن خبرات دولية من خلال الوكالة والفاو، لمساعدتنا على معالجة هذه المشكلة."

— بقلم ميكلوس غاسبر

العلوم

الاستيلاد الطفري المستحثّ فضائيًّا

التشعيع يسبّب الطفرات، ما يسبّب تغيُّرات جينية عشوائية، وهو ما يسفر عن نباتات طافرة ذات سمات جديدة ومفيدة. ولا ينطوي الاستيلاد الطفري على تحوّل في الجينات، ولكنه يستخدم بدلاً من ذلك المكونات الوراثية الخاصة بالنبات ويحاكي العملية الطبيعية للطفر التلقائي، الذي يمثّل محرك التطور. وباستخدام الإشعاعات، يمكن للعلماء أن يقلّلوا بشكل كبير من الوقت الذي يتطلبه استيلاد سلالات جديدة ومحسّنة من النباتات.

والاستيلاد الطفري المستحثّ فضائياً، ما يُسمى أيضاً الطفرات الفضائية، ينطوي على نقل البذور إلى الفضاء، حيث تكون الأشعة الكونية أشدّ، وتستخدم هذه الأشعة لتحفيز الطفرات. وتُستخدم الأقمار الصناعية، والمكوكات الفضائية، والمناطيد عالية الارتفاع لإجراء التجارب. ومن مزايا هذه الطريقة أن خطر إتلاف النباتات أقلّ مقارنة باستخدام أشعة غاما على الأرض.

الآلاف من
منشورات الوكالة
متاحة مجَّاناً إلكترونيًّا

www.iaea.org/books

sales.publications@iaea.org

المؤتمر الدولي بشأن

تغيُّر المناخ ودور القوى النووية

٧-١١ تشرين الأول/أكتوبر ٢٠١٩، فيينا، النمسا

مؤتمر تنظِّمه

IAEA

الوكالة الدولية للطاقة الذرية

تسخير الذرة من أجل السلام والتنمية

#Atoms4Climate

CN-275

اطلعوا على هذا العدد والأعداد الأخرى من مجلة الوكالة على الموقع www.iaea.org/bulletin

للحصول على المزيد من المعلومات عن الوكالة وعملها، زوروا موقعنا الشبكي www.iaea.org

أو تابعونا على

أو استكشفوا h2o.iaea.org

19-01656 ISSN 1819-1800